

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-232035

(43)Date of publication of application : 16.08.2002

(51)Int.Cl.

H01L 43/08  
G01R 33/09  
G11B 5/39  
H01F 10/16  
H01F 10/30  
H01F 10/32  
H01L 27/105

(21)Application number : 2001-023395

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 31.01.2001

(72)Inventor : FUKUZAWA HIDEAKI

IWASAKI HITOSHI

KOUJI KATSUHIKO

FUKUYA HIROMI

TOMITA HIROSHI

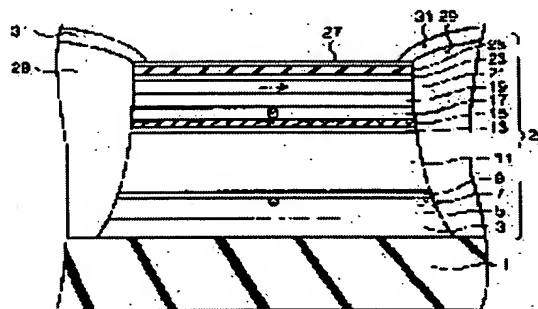
SAHASHI MASASHI

(54) MAGNETORESISTANCE EFFECT ELEMENT, MAGNETIC REPRODUCING HEAD, MAGNETIC REPRODUCER, MAGNETIC STORAGE UNIT AND METHOD FOR SENSING RESISTANCE OF MAGNETORESISTANCE EFFECT FILM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a magnetoresistance effect element or the like exhibiting a high magnetoresistance change rate and having a good bias point.

SOLUTION: The magnetoresistance effect element comprises a magnetoresistance effect film 28 having a first ferromagnetic layer 21, a first nonmagnetic layer 19, second ferromagnetic layers 13, 17 having a magnetization of a second direction, a second nonmagnetic layer 9, a third ferromagnetic layer 7, and a layer 15 containing an oxide as a main component and formed in the second ferromagnetic layer, and a pair of electrodes 31 electrically connected to the film 28 to



1: 基板	19: NO.
3: バッファ層	17: 磁化方向
5: シード層	13: 非磁性層
7: BCl	21: 磁化方向
9: テラップリング層	31: HCL
11: 反強磁性層	25: NOL
12: 磁化方向	27: キャップ層
	29: ハドバイス層
	31: リード電極

supply a current in a direction reverse to a second direction of a current magnetic field in the third ferromagnetic layer 5. Thus, a direction of a leakage magnetic field to be applied from the third layer 5 to the first layer 21 can be set to a direction for cancelling a direction of the magnetic field obtained by a sum of interlayer coupling magnetic field of the layer 21 and the layers 13, 17 by interlayer coupling from the second layers 13, 17 to be applied to the first layer 21 to the leakage magnetic field, current magnetic field.

---

## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 10.04.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

CLAIMS

---

## [Claim(s)]

[Claim 1] A magneto-resistive effect film characterized by providing the following, and a magneto-resistive effect element characterized by having an electrode of a pair which passes current on said magneto-resistive effect film so that the direction of a current magnetic field in said third ferromagnetic layer may become contrary to said second direction. An impression magnetic field is equipped with magnetization of the first direction by zero state, and it is the first ferromagnetic layer with said pivotable magnetization under a predetermined impression magnetic field. The first non-magnetic layer by which laminating formation was carried out at said first ferromagnetic layer. The second ferromagnetic layer to which laminating formation is carried out at said first non-magnetic layer, and said impression magnetic field holds magnetization of the second direction under a zero state and said predetermined impression magnetic field. A layer containing an oxide and a nitride which were formed in a non-magnetic layer of \*\* NI by which laminating formation was carried out, and a non-magnetic layer of said \*\* NI in a ferromagnetic layer of said \*\* NI between said second ferromagnetic layer and said second non-magnetic layer in the third ferromagnetic layer by which laminating formation was carried out, and a layer of said second ferromagnetic layer, carbide, or fluoride.

[Claim 2] Sense of a leakage magnetic field impressed to said first ferromagnetic layer from said third ferromagnetic layer. A leakage magnetic field from said second ferromagnetic layer impressed to said first ferromagnetic layer. A magneto-resistive effect element according to claim 1 characterized by being the direction which negates sense of a magnetic field acquired by the sum of a current magnetic field and a layer joint magnetic field by association between layers with said first ferromagnetic layer and said second ferromagnetic layer.

[Claim 3] A magneto-resistive effect element according to claim 1 or 2 characterized by having the third non-magnetic layer which contains an element of Cu, Au, or Ag by which laminating formation was carried out in a field which touches said second non-magnetic layer of said first ferromagnetic layer, and a field of the opposite side.

[Claim 4] A magneto-resistive effect element given in claim 1 characterized by average thickness of said first ferromagnetic layer being 3nm or less thru/or any 1 term of 3.

[Claim 5] A magneto-resistive effect element given in claim 1 to which magnetic thickness of said third ferromagnetic layer is characterized by 1.8 or more nmTs being 4.5 or less nmT by material conversion of saturation magnetization 1T thru/or any 1 term of 4.

[Claim 6] said third ferromagnetic layer -- a CoFe alloy -- more than 50atomic% -- a magneto-resistive effect element given in claim 1 to which it contains and average thickness is characterized by 1nm or more being 2.5nm or less thru/or any 1 term of 5.

[Claim 7] A magneto-resistive effect element given in claim 1 to which average thickness of a layer containing said oxide, a nitride, carbide, or fluoride is characterized by 1nm or more being 2nm or less thru/or any 1 term of 6.

[Claim 8] A magneto-resistive effect element given in claim 1 characterized by having an antiferromagnetism layer which is formed between said second ferromagnetic layer and said second

non-magnetic layer, and touches said second ferromagnetic layer thru/or any 1 term of 7.

[Claim 9] The magnetic reproducing head characterized by equipping claim 1 thru/or any 1 term of 8 with a magneto-resistive effect element of a publication.

[Claim 10] A magnetic regenerative apparatus characterized by carrying the magnetic reproducing head according to claim 9.

[Claim 11] Magnetic storage characterized by equipping claim 1 thru/or any 1 term of 8 with two or more magneto-resistive effect elements of a publication.

[Claim 12] A resistance detection method of a magneto-resistive effect film characterized by for a current magnetic field in said third ferromagnetic layer passing current in said second direction and the direction which becomes reverse, and detecting resistance of said magneto-resistive effect film at a magneto-resistive effect film characterized by providing the following An impression magnetic field is equipped with magnetization of the first direction by zero state, and it is the first ferromagnetic layer with said pivotable magnetization under a predetermined impression magnetic field. The first non-magnetic layer by which laminating formation was carried out at said first ferromagnetic layer The second ferromagnetic layer to which laminating formation is carried out at said first non-magnetic layer, and said impression magnetic field holds magnetization of the second direction under a zero state and said predetermined impression magnetic field A layer containing an oxide and a nitride which were formed in a non-magnetic layer of \*\* NI by which laminating formation was carried out, and a non-magnetic layer of said \*\* NI in a ferromagnetic layer of said \*\* NI between said second ferromagnetic layer and said second non-magnetic layer in the third ferromagnetic layer by which laminating formation was carried out, and a layer of said second ferromagnetic layer, carbide, or fluoride

---

[Translation done.]

## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

### [Detailed Description of the Invention]

[0001]

[The technical field to which invention belongs] This invention relates to the resistance detection method of the magnetic regenerative apparatus which carried the magneto-resistive effect element using a magneto-resistive effect, the magnetic reproducing head, and this, magnetic storage, and a magneto-resistive effect film.

[0002]

[Description of the Prior Art] recent years -- a hard disk drive (HDD) -- densification -- following -- the exterior -- a magnetic field -- a zero state -- being mutual -- magnetization -- abbreviation -- a rectangular cross -- carrying out -- two -- a \*\* -- ferromagnetism -- a layer -- these -- between -- inserting -- having had -- a non-magnetic layer -- having -- two -- a \*\* -- ferromagnetism -- a layer -- being relative -- magnetization -- a direction -- depending -- electric resistance -- changing -- spin -- a bulb -- (-- SV --) -- a film -- having -- SV-GMR (Spin-Valve Giant MagnetoResistive From now on, for the further densification, SV-GMR head of high sensitivity is more required, and the further improvement in the magneto-resistive effect rate of change (MR rate of change) which brings about high power, the thickness of SV-GMR, and pole thinning of a magnetosensitive layer (magnetization free layer) from which the sense of magnetization changes especially according to a signal magnetic field will be important.

[0003] A magnetization free layer is thinned very much to several nm, and the spin filter spin bulb (SFSV: Spin-Filter Spin-Valve) film equipped with the high conductive layer which adjoins this magnetization free layer is proposed and put in practical use. In SFSV, the improvement in magnetization sensitivity accompanying thin-film-izing of a magnetization free layer realizes the high power reproducing head.

[0004] Furthermore, the NOL-SPSV (Nano Oxide Layer-SPEcular Spin-Valve) film which uses the specular (electronic specular reflection) effect as technology following SFSV for improvement in MR rate of change, and has practical spin bulb membrane structure is proposed. By inserting the ultra-thin oxidizing zone called NOL into the magnetization fixing layer (magnetization pin layer) by which the laminating was carried out through the magnetization free layer, or a magnetization free layer and a middle non-magnetic layer, and carrying out specular reflection of the conduction electron by that interface, this film carries out a spin bulb film like a false artificial grid film, and earns MR rate of change. It is possible to raise MR rate of change of a spin bulb film by leaps and bounds by invention of this structure.

[0005]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, when it was actually going to apply NOL-SPSV to a sensor or the magnetic head, this invention persons discovered that the trouble described below arose.

[0006] First, although it is indispensable to use an ultra-thin magnetization free layer in the NOL-SPSV film which aims at high density playback, in using this ultra-thin magnetization free layer, adjustment of the bias point (operating point at the time of head actuation) becomes difficult. For that purpose, it is

important to make small various magnetic fields which join a magnetization free layer. Also in it, the leakage magnetic field ( $H_{pin}$ ) of a magnetization pin layer has big effect to magnetization of a magnetization free layer.

[0007] In order to make small the leakage magnetic field of this magnetization pin layer, in SFSV, the Sy-AF structure to which synthetic association (Sy-AF takes antiferromagnetism-association and henceforth.) of between two ferromagnetic layers which carried out the laminating through the non-magnetic layer was carried out is adopted as a magnetization pin layer.

[0008] With this Sy-AF structure, the ferromagnetic pin layer of the upper and lower sides into which average thickness inserts this through non-magnetic layers, such as Ru which is about 9Å, is carrying out antiferromagnetism-association. Therefore, the leakage magnetic field from a magnetization pin layer serves as a difference of up-and-down pin layer MAG thickness ( $M_{sxt}$  (saturation magnetization x thickness)), and can make low the substantial pin layer leakage magnetic field which joins a magnetization free layer, without making a magnetization pin layer extremely thin. It is indicated by the patent official report No. 2786601 about the details of Sy-AF structure.

[0009] Thus, the current magnetic field ( $H_{cu}$ ) in a magnetization free layer is made small by using high conductive layers, such as Cu layer, further, reducing the leakage magnetic field of a magnetization pin layer. And after making small the indirect-layer joint magnetic field ( $H_{in}$ ) between the magnetization free layer through a nonmagnetic spacer layer, and a pin layer By choosing the direction of current so that the relation of  $H_{pin}+H_{cu}+H_{in}=0$  may be realized, the good bias point was realized at SFSV using Sy-AF structure.

[0010] However, when it was going to realize Sy-AF structure in the NOL-SPSV film, the problem of the above-mentioned property of Sy-AF structure stopping coming out became clear. Although the detailed reason is not clear, the phenomenon in which the oxygen in a NOL layer, nitrogen, fluorine, carbon, etc., for example, weaken antiferromagnetism association of the vertical magnetization pin layer which was spread in Ru layer of Sy-AF structure by heat treatment, and minded Ru is considered to be the cause. Then, it becomes impossible to adopt Sy-AF structure by NOL-SPSV, it becomes impossible to reduce the leakage magnetic field from a magnetization pin layer, and it is thought that it becomes impossible to realize the good bias point.

[0011] On the other hand, in order to cancel completely the leakage magnetic field from a magnetization pin layer to zero, there is a concept of using a magnetic keeper layer (JP,8-55312,A official report). this - the upper and lower sides of a spin bulb film -- the laminating of the soft magnetism keeper layer is carried out to one of film surfaces, and by the current magnetic field, as the magnetization direction of this soft magnetism keeper layer becomes the direction of a magnetic field and reverse sense of a magnetization pin layer, a pin layer leakage magnetic field is canceled.

[0012] The cancellation method using this magnetic keeper layer makes a pin layer leakage magnetic field zero completely, and is adjusting the bias point by the technique ( $H_{in}=H_{cu}$ ,  $H_{pin}=0$ ) of canceling  $H_{in}$  by  $H_{cu}$ . Since the magnetization free layer is comparatively thick in low density record, the external magnetization sensitivity of a magnetization free layer is blunt. Moreover, it becomes comparatively small, and a current magnetic field becomes possible [ canceling this by the small layer joint magnetic field  $H_{in}$  ], and the rate of the conduction conductance of a magnetization free layer closed into SV film of a magnetization free layer becomes large, since the magnetization free layer is thick therefore effective [ the cancellation method by the magnetic keeper layer ].

[0013] However, it is expected that the thickness of the magnetization free layer of NOL-SPSV which aims at high recording density becomes thin, and since  $H_{cu}$  increases in connection with this, there is a limit by the cancellation method by the magnetic keeper layer.

[0014] In addition, having not made for a current magnetic field to be too large into a big problem turns out easily to see the membrane structure indicated by the above-mentioned open official report. That is, although it is indispensable in a densification arm head to reduce a current magnetic field by carrying out contact formation of the high conductive layer in a magnetization free layer in order to reduce the current magnetic field to a magnetization free layer in SFSV which carried out point \*\*, it is because the description does not exist in a JP,8-55312,A official report.

[0015] Furthermore, the technique of passing current in the direction which cancels  $H_{in}$  and realizing the bias point is not realistic in NOL-SPSV. That is, the current magnetic field  $H_{cu}$  is larger than  $H_{in}$ , and layout called  $H_{in}=H_{cu}$  is very difficult.

[0016] Thus, it was difficult to adjust the bias point of NOL-SPSV good by the conventional bias point adjustment method.

[0017] This invention makes it a technical problem to offer the resistance detection method of the magnetic regenerative apparatus which carries the magneto-resistive effect element which has the good bias point, a magneto-resistive effect arm head, and this, magnetic storage, and a magneto-resistive effect film by making into the start the trouble in the Prior art described above.

[0018]  
[Means for Solving the Problem] In order to solve the above-mentioned technical problem, one gestalt of this invention An impression magnetic field is equipped with magnetization of the first direction by zero state. Under a predetermined impression magnetic field The first ferromagnetic layer with pivotable magnetization, The first non-magnetic layer by which laminating formation was carried out at the first ferromagnetic layer, and the second ferromagnetic layer to which laminating formation is carried out at the first non-magnetic layer, and an impression magnetic field holds magnetization of the second direction under a zero state and a predetermined impression magnetic field, A non-magnetic layer of \*\* NI by which laminating formation was carried out at a ferromagnetic layer of \*\* NI, and the third ferromagnetic layer by which laminating formation was carried out at a non-magnetic layer of \*\* NI, Were formed between the second ferromagnetic layer and second non-magnetic layer in a layer of the second ferromagnetic layer. A magneto-resistive effect film equipped with a layer containing an oxide, a nitride, carbide, or fluoride and a magneto-resistive effect element characterized by having an electrode of a pair which passes current on a magneto-resistive effect film so that the direction of a current magnetic field in the third ferromagnetic layer may become contrary to said second direction are offered.

[0019] Moreover, the above-mentioned magneto-resistive effect element can constitute the magnetic reproducing head carried in a head gimbal assembly etc. Moreover, a magnetic regenerative apparatus carrying magnetic-recording data medium which recorded this magnetic reproducing head and magnetic information can realize correspondence to a raise in recording density more than before. In addition, it is possible to use a magneto-resistive effect element of this invention also about a magnetic regenerative apparatus which made magnetic-recording data medium dismountable.

[0020] Moreover, the above-mentioned magneto-resistive effect element can constitute a memory cell from a transistor, diode, or independent. A semiconductor memory of a non-volatile can consist of carrying out accumulation formation of this magneto-resistive effect element.

[0021] As for other gestalten of this invention, an impression magnetic field is equipped with magnetization of the first direction by zero state further again. Under a predetermined impression magnetic field The first ferromagnetic layer with said pivotable magnetization, The first non-magnetic layer by which laminating formation was carried out at the first ferromagnetic layer, and the second ferromagnetic layer to which laminating formation is carried out at the first non-magnetic layer, and an impression magnetic field holds magnetization of the second direction under a zero state and a predetermined impression magnetic field, A non-magnetic layer of \*\* NI by which laminating formation was carried out at a ferromagnetic layer of \*\* NI, and the third ferromagnetic layer by which laminating formation was carried out at a non-magnetic layer of \*\* NI, Were formed between the second ferromagnetic layer and second non-magnetic layer in a layer of the second ferromagnetic layer. It is related with a resistance detection method of a magneto-resistive effect film characterized by for a current magnetic field in the third ferromagnetic layer passing current in the second direction and the direction which becomes reverse, and reading resistance of a magneto-resistive effect film at a magneto-resistive effect film equipped with a layer containing an oxide, a nitride, carbide, or fluoride.

[0022] In a resistance detection method of a magneto-resistive effect element described above, the magnetic reproducing head, a magnetic regenerative apparatus, and a magneto-resistive effect film, it is possible to have the next configuration.

1. Cu, Au by which laminating formation was carried out in field where the first ferromagnetic layer touches said second non-magnetic layer, and field of the opposite side It has the third non-magnetic layer containing one element of Ag. The content is more than 50atomic%. It is good also as an included non-magnetic layer.
2. Average thickness of the first ferromagnetic layer is 3nm or less.
3. Magnetic thickness of the third ferromagnetic layer is 1.8 or more-nmT 4.5 or less nmT in material conversion of saturation magnetization 1T.
4. the third ferromagnetic layer -- a CoFe alloy -- more than 50atomic% -- contain and average thickness is 1nm or more 2.5nm or less.
5. Average thickness of a layer containing an oxide, a nitride, carbide, or fluoride is 1nm or more 2nm or less. A content of an oxide of this layer, a nitride, carbide, or fluoride can be made more than 50atomic%.
6. Sense of a leakage magnetic field impressed to the first ferromagnetic layer from the third ferromagnetic layer is the direction which negates sense of a magnetic field acquired by the sum of a leakage magnetic field from the second ferromagnetic layer impressed to the first ferromagnetic layer, a current magnetic field, and a layer joint magnetic field by association between layers with the first ferromagnetic layer and the second ferromagnetic layer.
7. It is formed between the second ferromagnetic layer and the second non-magnetic layer, and has an antiferromagnetism layer which touches the second ferromagnetic layer.

[0023]

[Embodiment of the Invention] (1st operation gestalt) Next, a \*\*\*\* magneto-resistive effect element is explained to one gestalt of this invention.

[0024] As for the porcelain resistance effect element of this gestalt, an impression magnetic field is equipped with magnetization of the first direction by the zero state. By the predetermined impression magnetic field First, the first ferromagnetic layer with said pivotable magnetization, Laminating formation is carried out at the first non-magnetic layer by which laminating formation was carried out at the first ferromagnetic layer, and a nonmagnetic interlayer, and it has the second ferromagnetic layer to which an impression magnetic field holds magnetization of the second direction in a zero state and said predetermined impression magnetic field.

[0025] This first ferromagnetic layer is a magnetization free layer which magnetization rotates, when impression magnetic fields, such as a signal magnetic field, are added. Laminating formation of this magnetization free layer is carried out with the second ferromagnetic layer through the spacer layer which contains Cu etc. as the first non-magnetic layer. This second ferromagnetic layer is a magnetization pin layer in which an impression magnetic field holds that magnetization direction also in the predetermined impression magnetic field which magnetization of a zero state and the first ferromagnetic layer rotates.

[0026] In magnetization fixing (pinning) to the second direction of this magnetization pin layer The method using the ferromagnetic material which has high coercive force in the degree which maintains magnetization also in a predetermined impression magnetic field as a material of a magnetization pin layer, There is the method of carrying out contiguity arrangement and fixing by the leakage magnetic field near the magnetization pin layer etc. about the method and hard magnetic layer which carry out laminating formation with an antiferromagnetism layer, and fix by magnetic switched connection with an antiferromagnetism layer.

[0027] Although the first and the second direction may be the same, differing is desirable and they can also make the abbreviation right angle of each other [ still ]. The element for which the first and the second direction constitute an abbreviation right angle is the so-called spin bulb element.

[0028] Magnetization of a magnetization free layer changes according to a signal magnetic field, and the electric resistance of a magneto-resistive effect element shows low resistance in the condition equal to the second direction, and shows high resistance in the state of the second direction and \*\*\*\* parallel of magnetization of a magnetization free layer.

[0029] Such resistance change is for an electron to receive dispersion depending on the direction of



magnetization (spin) of a ferromagnetic layer in the interface of both the ferromagnetism layer of a magnetization free layer and a magnetization pin layer, and a nonmagnetic spacer layer (spin dependence interface dispersion).

[0030] With this operation gestalt, it has a layer containing the oxide and nitride which were formed in the field of the opposite side, carbide; or fluoride the inside of the layer of the magnetization pin layer of such a magneto-resistive effect element, or the side which touches the nonmagnetic spacer layer of a magnetization pin layer. this -- a layer -- a magneto-resistive effect -- an element -- inside -- having moved -- an electron -- specular reflection (specular) -- carrying out -- a thing -- it is -- nonmagnetic -- a spacer -- a layer -- from -- magnetization -- a pin -- a layer -- inside -- a passage -- this -- a layer -- a mirror plane -- having reached -- an electron -- for -- nonmagnetic -- a spacer -- a layer -- magnetization -- a pin -- a layer -- and -- magnetization -- free -- a layer -- an interface -- false

[0031] In addition, the average thickness of the layer containing this oxide, a nitride, carbide, or fluoride has 0.5 to desirable about 5nm. [ from a viewpoint which makes a suitable value the magnetic coupling force of the magnetic layers which sandwich this etc. ] Henceforth, about this layer, the layer equipped with an oxide as a principal component is made into an example, and NOL is called.

[0032] It newly has the third ferromagnetic layer as BCL (Bias Compensation Layer) which compensates the external magnetic field (bias) concerning a magnetization free layer with NOL-SPSV of this operation gestalt. To this BCL, soft magnetic materials etc. are desirable.

[0033] The bias point of this magneto-resistive effect element is adjusted by negating the sum of the leakage magnetic field from the magnetization pin layer impressed in a magnetization free layer by the leakage magnetic field impressed from this BCL in a magnetization free layer, the current magnetic field produced by current energization, and the layer joint magnetic field by association between layers with a magnetization pin layer and a magnetization free layer. That is, it becomes possible to consider as the first direction of a request of the magnetization direction in the impression magnetic field zero of a magnetization free layer.

[0034] In addition, it is required for adjustment of this bias point to pass current so that the direction of the current magnetic field in BCL may be made into the magnetization direction (the second direction) and hard flow of a magnetization pin layer.

[0035] Moreover, the second non-magnetic layer is required in order to prevent magnetic association between a magnetization pin layer and BCL.

[0036] It became clear that such the good bias point in NOL-SPSV is realizable with this operation gestalt as a result of research of artificers who state below. Below, the contents are explained in full detail.

[0037] First, the layer joint magnetic field  $H_{in}$  which starts a magnetization free layer by association between layers with a magnetization pin layer is made as small as possible. How ( $H_p = H_{cu} + H_{in}$ ) to catch with the main magnetic bias which impresses other leakage magnetic fields  $H_p$  and current magnetic fields  $H_{cu}$  from a ferromagnetic layer to a magnetization free layer, and to adjust the bias point however, the case where  $H_{in}$  is making the positive value and the antiferromagnetism-magnetization array when the magnetization pin layer and the magnetization free layer are making the ferromagnetic-like magnetization array -- a value negative, in  $H_{in}$  -- giving a definition -- it is thought by high density playback that it is the most realistic method.

[0038] That is, as  $H_p$  and  $H_{cu}$  used as the static magnetic field to a magnetic free layer serve as reverse sense, they adjust the bias point. And  $H_p$  A value is solved using the bias compensation effect by BCL.

[0039] That is, it is  $H_p$  by making the direction of the leakage magnetic field HBCL impressed from BCL in a magnetization free layer into the leakage magnetic field  $H_{pin}$  by which it is impressed from a magnetization pin layer in a magnetization free layer, and hard flow. Increase is solved.

[0040] The concept of the bias point adjustment in this invention is shown in a bottom type.

[0041]

$$H_p = H_{in} + H_{cu} \quad (1)$$

$$H_p = H_{pin} - HBCL \quad (2)$$

However, the sign of  $H_{in}$  defines the time of  $H_{cu}$  and this direction as positive.

[0042]

$H_{pin} = \pi^2 (M_{sxt}) \text{ pin} / h$  (3)

$H_{cu} = 2\pi c x I_s / h$  (4)

$c = |(I_1 - I_3) / (I_1 + I_2 + I_3)|$  (5)

$H_{BCL} = D x \pi^2 (M_{sxt}) BCL / h$  (6)

In above formula (1) - (6),  $h$  is MR height [ $\mu\text{m}$ ]. Moreover,  $D$  is a value smaller than 1 and changes with a sense current value and the values of  $M_{sxt}$  of a magnetization pin layer. That is,  $D$  serves as a large value and approaches 1, so that the value of  $M_{sxt}$  of a magnetization pin layer is so large that a sense current value is large.

[0043] Moreover,  $I_s$  shows the sense current value which flows on a magneto-resistive effect film, and shows total of the splitting values  $I_1$ ,  $I_2$ , and  $I_3$ . These current values show the current value which flows to each field which trichotomized the field where current flows with the electrode of a pair among magneto-resistive effect films in the vertical direction. The magnetization free layer which is the field of middle They are the flowing current value  $I_2$ , the current value  $I_1$  which flows the field to the best conductive layer ( drawing 1 cap layer 27) which is in inter-electrode from the upper layer of a magnetization free layer, and the current value  $I_3$  which flows the field from the lower layer of a magnetization free layer to the lowest inter-electrode conductive layer ( drawing 1 buffer layer 3). In addition,  $I_s$  makes the positive value the case where the current magnetic field in BCL7, passes current in the magnetization direction of a magnetization pin layer, and the direction which becomes reverse.

[0044] Concrete structure is made into an example and adjustment of the bias point using BCL is explained below.

[0045] The outline cross-section structure of the bottom type spin bulb film of this operation gestalt is shown in drawing 1.

[0046] Sequential formation of the magneto-resistive effect element of the gestalt of this operation was carried out on the substrate 1: A buffer layer 3, the seed layer 5, the decoupling layer 9 that prevents the magnetic coupling of BCL7, BCL7, and the antiferromagnetism layer 11, the antiferromagnetism layer 11, the magnetization pin layer 13, NOL15, the magnetization pin layer 17, a non-magnetic layer 19, the magnetization free layer 21, HCL23 and NOL25, and the cap layer 27 It has the magneto-resistive effect film 28 which it has, the hard bias film 29 of a pair, and the lead electrode 31 of a pair. The material which constitutes the principal component of each class is explained in full detail in an example 1.

[0047] In addition, a magnetization pin layer arranges BCL in a lower layer rather than a magnetization pin layer by the bottom type spin bulb film located in the direction bottom of a laminating rather than a magnetization free layer. Moreover, a magnetization pin layer arranges BCL in the upper layer rather than a magnetization pin layer by the top type spin bulb film located in the upper layer of the direction of a laminating rather than a magnetization free layer.

[0048] In drawing 1, switched connection of the antiferromagnetism layer 11 is carried out to the magnetization pin layer 13, and it has fixed the sense of magnetization of the magnetization pin layer 13 in the direction of a table from the space reverse side of drawing 1 by the magnetic bias by this switched connection. Moreover, the magnetization pin layer 17 has magnetization of the same direction as the magnetization pin layer 13 by ferromagnetic switched connection with the magnetization pin layer 13.

[0049] NOL15 among the magnetization pin layers 13 and 17 uses as a principal component the oxide of the material which constitutes the magnetization pin layer 13, contains it (more than 50atomic%), and can expect the specular reflection effect in the surface by the side of this magnetic pin layer 17 of NOL15. In addition, the principal component of NOL15 can be suitably changed into carbide, a nitride, fluoride, etc. other than an oxide. Moreover, you may be the oxide of the material which constitutes the magnetization pin layer 13, and a different material, carbide, a nitride, and fluoride.

[0050] The non-magnetic layer 19 which touches the magnetization pin layer 17 is a nonmagnetic spacer layer of a spin bulb element, and spin dependence dispersion produces it in both the surfaces that touch the magnetization pin layer 17 of this layer, and the magnetization free layer 21.

[0051] Magnetization bias is given to the longitudinal direction in space of drawing 1 by the leakage magnetic field from the hard bias film 29 of a pair with which the magnetization free layer 21 was

formed in those both sides of the so-called ABATTO cementation structure, and an external magnetic field has magnetization of this direction by the zero state by it. Moreover, in the layer of the magnetization free layer 21, single domain-ization is maintained by this magnetization bias and the cure of a Barkhausen noise is made.

[0052] If an external magnetic field is impressed, this magnetization free layer 21 will be adjusted so that that magnetization may be freely pivotable, and if the external magnetic field of the hidden sense is impressed from the space table of drawing 1, magnetization of the magnetization free layer 21 will follow and change to this sense. On the contrary, if the external magnetic field of the sense of a table is impressed from the space reverse side of drawing 1, magnetization of the magnetization free layer 21 will also follow and change to this sense.

[0053] As for parallel, the relative magnetization direction with the magnetization pin layer 17 changes with magnetization rotations of this magnetization free layer 21, and the electric resistance of the magneto-resistive effect film 28 changes with the relation of anti-parallel. That is, when the mutual magnetization direction is parallel, the electric resistance of the magneto-resistive effect film 27 is low, and when the magnetization directions are anti-parallel, the electric resistance of the magneto-resistive effect film 27 becomes high. Change of this electric resistance is detected in the detecting circuit which detects resistance change known from the former through the lead electrode 31 of a pair connected to the both ends of a magneto-resistive effect film.

[0054] On the magnetization free layer 21, HCL23 containing a high conductivity material is formed, and adjustment of the thickness can adjust the value of Hcu suitably as mentioned above.

[0055] In addition, NOL25 on HCL23 means the electronic specular reflection effect by the side of the magnetization free layer 21, and is inserted.

[0056] About how to maintain the bias point in this magneto-resistive effect film 28, it is as an above-mentioned basic type.

[0057] The relation between the above-mentioned (1) formula and (2) types, and the structure of this element is explained referring to drawing 2.

[0058] The cross-section structure of the magneto-resistive effect element shown in the cross-section perspective diagram of drawing 2 is the same as that of it of drawing 1, and explanation of each film configuration is omitted. However, for convenience, the magneto-resistive effect film 28 of drawing 1 is further expanded to a space lengthwise direction, and drawing 2 shows it to it.

[0059] (1) Adjusting so that a formula may fully be filled becomes important on bias point adjustment. Hp and Hcu are used as a strange good factor. About Hcu, as already explained, it is changeable with the thickness control of the nonmagnetic high conductive layer (HCL: High Conductance Layer) which adjoins a magnetization free layer and is formed.

[0060] That is, the current magnetic field Hcu becomes small, so that the thickness of HCL is thick, and as for the degree of the Hcu reduction by the increment in thickness, an effect becomes large, so that the sheet resistance of the magneto-resistive effect film 28 is large.

[0061] The degree of the effect is computable in simple by approximating each class of a spin bulb film with a parallel conductor model. However, the value of the specific resistance of each class needs to compute not using the value of bulk from the variation of the conductance shifted to positive or a negative direction 1nm - 2nm from actually near thickness in that case. By this technique, it can use as a value of the specific resistance which took distribution of Boltzmann of current into consideration in approximation.

[0062] Next, Hp is determined from Hpin and HBCL, as it is in (2) types.

[0063] Among those, an outline decision of the Hpin is made by the height (height extended at back from the signal inflow side of the magneto-resistive effect film 28) and the magnetic thickness (Msxt) of the magnetization pin layers 13 and 17.

[0064] However, it is necessary to carrying out the premise of the magnetization direction of the magnetization pin layers 13 and 17 fixing to an one direction completely simply to take into consideration in fact that the magnetization pin layers 13 and 17 have not fixed completely towards desired (drawing 1 the direction of the space reverse side to a table). For example, even if it says that it

has a shield film in a truck cross direction ( drawing 1 longitudinal direction in space) edge with the shield mold arm head which pinches the magneto-resistive effect film 28 with a shield film through a gap film, some deflection (curling) is said for the magnetization direction to shift from a request by the bias magnetic field from the hard bias film 29 for existing and making a magnetization free layer into a single domain.

[0065] In drawing 2 , HBCL is a leakage magnetic field impressed by BCL in a magnetization free layer, and consists of the sum of the current magnetic field  $H_{cuBCL}$  in BCL, and the leakage magnetic field  $H_{pinBCL}$  from the magnetization pin layers 13 and 17. BCL is arranged in the location used as the current magnetic field ( $H_{cu}$ ) which requires the sense of a current magnetic field [ in / that a current magnetic field tends / as possible / to start (a current center position to vertical edge) / BCL ] ( $H_{cuBCL}$ ) in the magneto-resistive effect film 28 for a magnetization free layer, and the reverse sense. This becomes possible to realize  $H_p = H_{pin} + HBCL$  and the good bias point in NOL-SPSV can be realized.

[0066] On the other hand, HBCL in (2) types is a factor newly introduced in this invention.

[0067] BCL consists of a ferromagnetic layer and let the magnetization fixing direction be the magnetization direction and reverse sense of a magnetization pin layer. This is making in agreement the sense of the current magnetic field ( $H_{cuBCL}$ ) impressed to BCL, and the leakage magnetic field ( $H_{pinBCL}$ ) from a magnetization pin layer, and can be realized. Therefore, HBCL is decided by  $H_{cuBCL} + H_{pinBCL}$  and can determine HBCL by adjusting these magnetic fields suitably.

[0068] In addition, the current magnetic field ( $H_{cu}$ ) in the magnetization free layer by the current makes the direction of the sense current energized from an electrode 31 the direction which cancels the leakage magnetic field ( $H_p$ ) impressed to a magnetization free layer from other ferromagnetic layers, such as a magnetization pin layer.

[0069] Thus, as mentioned above, although magnetization of BCL is fixing by the current magnetic field and the leakage magnetic field from a magnetization pin layer, since the magnetization direction of a magnetization pin layer has not fixed in the MR height direction completely,  $H_{pinBCL}$  tends to become small compared with the pin layer of full fixing which used Sy-AF. Moreover, since the direction of BCL which used the soft magnetism layer influences notably, as for the effect of the  $H_{pinBCL}$  reduction by the hard bias film 29, it is desirable to take these into consideration in layout.

(Example 1) This example 1 explains the example 1 of a \*\*\*\* bottom type spin bulb film to the gestalt of the 1st operation.

[0070] First, the spin bulb film which consists of following each class on a substrate 1 was created. In addition, thickness is a value immediately after forming membranes by control of membrane formation speed and membrane formation time amount.

[0071] Ta 3 nm/NiFeCr 2 nm/CoFe 1.5 nm/NiFeCr 1 nm/PtMn 10 nm/CoFe 0.5 nm/NOL/CoFe 2 nm/Cu 2.3 nm/CoFeNi 2 nm/Cu 1 nm/TaO -- membrane formation of this spin bulb film formed membranes by the DC magnetron sputtering method in the inside of a vacuum 1 nm, using the layer material of above-mentioned each class as a target material. The ultimate vacuum in a spatter chamber is  $1 \times 10^{-7}$  or less Torr, and formed membranes with the gas pressure of 1mTorr - 10mTorr using Ar gas. In addition, the IBD (Ion Beam Deposition) method may be used besides the DC magnetron sputtering method. Then, Xe gas can be used for sputtering gas and it becomes possible to lower the gas pressure rather than DC magnetron sputtering.

[0072] Next, it explains, referring to drawing 1 about the configuration of each class.

[0073] From a substrate 1 side, Ta layer is a buffer layer 3 and its about 0~5nm average thickness is desirable. Instead of Ta, metals and those alloys, such as Ti, Zr, Hf, W, Cr, V, Mo, Re, and Os, may be used. Ta, Ti, and Zr can be used also especially in these.

[0074] The NiFeCr layers on it are face centered cubic structures (fcc), such as CoFe of this upper layer, and NiFeCr. It is the seed layer 5 to which the parallel orientation to the layer surface of a field (111) is urged and which consists of a non-magnetic material. Here, Cr is added in order [ for shunt reduction ] to make NiFe of a magnetic material nonmagnetic. 20% - about (atomic %) 60% of the addition of Cr is desirable. Moreover, Nb, Hf, Ta, Ti, Mo, W, etc. may be added to a change of chromium. You may use nonmagnetic NiCr, Cu, Ru, Re, Os and Pt, nonmagnetic [ NiCu ], etc. as a fcc (111) orientation

promotion film further again. As long as the seed layer 5 consists of materials equipped with a crystal orientation promotion function, a buffer layer 3 may be omitted.

[0075] It is BCL7, since fcc (111) orientation of the CoFe layer on a NiFeCr layer is carried out according to the effect of a substrate seed layer, it shows sufficient soft magnetism, and the magnetization direction can be reversely [ the magnetization direction of a magnetization pin layer, and ] suitable of the layer with the current magnetic field  $H_{cuBCL}$  and the leakage magnetic field  $H_{pinBCL}$  from the magnetization pin layers 13 and 17.

[0076] If the soft magnetism of BCL7 is not enough, since the magnetization direction stops moving by the current magnetic field ( $H_{cuBCL}$ ) or the leakage magnetic field ( $H_{pinBCL}$ ) from the magnetization pin layers 13 and 17, it is not desirable. However, soft magnetism is not searched for in about 21 magnetization free layer which must react to a data-medium magnetic field sensitively.

[0077] As one criteria, compared with a current magnetic field ( $H_{cuBCL}$ ) or the leakage magnetic field ( $H_{pinBCL}$ ) from a pin layer, if it is 1 / ten to 1/5 or less small coercive force ( $H_c$ ), it is satisfactory. Since this film plays a role important for bias point control, it needs cautions for this thickness decision. The indicator of thickness decision is explained in full detail behind.

[0078] Although CoFe was used for the spatter target material of BCL7 here, an amorphous material like a crystal material like NiFe and NiFeX ( $X=Cr, Nb, Hf, Ti, Ta, W, Mo$ ), CoZrNb, and CoZrTa is sufficient as it. However, since BCL7 also has a role of a substrate layer in bottom type NOL-SPSV, in the semantics of the crystal orientation control by which a laminating is carried out on it, a crystal material like CoFe or NiFe is desirable. At the time of the top type with which BCL7 is located in the upper layer in a spin bulb film, an amorphous material is sufficient.

[0079] The NiFeCr layer on a CoFe layer was a non-magnetic layer (decoupling layer 9) for cutting magnetic association with BCL7 with magnetism, and the PtMn layer which is the antiferromagnetism layer 11, and since the smaller possible one of an electric shunt was good, the same NiFeCr as the seed layer 5 was used for it. Although there is no necessary \*\* which is the not necessarily same material as the seed layer 5, a material which was exactly mentioned in the substrate seed layer can be used as it is.

[0080] It is a problem when magnetic coupling arises between the antiferromagnetism film 11 and BCL7 here. As shown in drawing 1 , by because, the magnetization direction, and the leakage magnetic field ( $H_{pinBCL}$ ) and current magnetic field ( $H_{cuBCL}$ ) from the magnetization pin layers 13 and 17 of the magnetization pin layers 13 and 17 which fixed by switched connection with the antiferromagnetism film 11 If magnetic coupling arises between BCL7 and the antiferromagnetism layer 11 to making the magnetization direction ( $H_{BCL}=H_{pinBCL}+H_{cuBCL}$ ) concerning BCL7 into the reverse sense It is because the operation which the magnetization direction of the magnetic pin layers 13 and 17 and the magnetization direction of BCL7 become in this direction works.

[0081] When coupling of BCL7 and the antiferromagnetism layer 11 arises, it is necessary to make it 1 / ten to 1/5 or less magnitude of the current magnetic field which joins BCL7, and the leakage magnetic field from the magnetization pin layer 17. Therefore, 0.5nm - about 5nm is desirable still more desirable, and the thickness of required NiFeCr has desirable about 1-3nm. Although it becomes possible to cut coupling more magnetic enough as thick, in order for the part and electric shunts to also increase in number and for total thickness to also increase, adjustment with high narrow-gap(high density )-izing is needed. Moreover, since it becomes difficult to put in a thick spin bulb film through a magnetic gap between magnetic shielding in using for the playback magnetic head, the range of the above-mentioned thickness is desirable.

[0082] The PtMn layer on a NiFeCr layer is the antiferromagnetism layer 11, and the magnetization of the magnetization pin layer (CoFe layer) 13 by which a laminating is carried out on it is fixed. In order to reduce an electric shunt, the thinner one of the antiferromagnetism layer 11 is desirable, but since magnetization fixing to an one direction will become difficult if too not much thin, in PtMn, 6nm - about 20nm is desirable still more desirable, and 8nm - about 15nm is desirable.

[0083] Moreover, although PtMn is desirable as an antiferromagnetism layer 11, you may be other antiferromagnetism layers which have the function which fixes the magnetization direction instead of PtMn in the one direction of PdPtMn, IrMn and RuMn, RuRhMn, NiMn, NiO, and alpha-Fe 2O3 grade.

[0084] CoFe/NOL/CoFe on a PtMn layer is a magnetization pin layer with the magnetization direction of one, and CoFe of the upper and lower sides through NOL is carrying out ferromagnetic association by sufficient strength magnetically, also where a signal magnetic field is given. As for the CoFe layer in contact with a PtMn layer, it is desirable to have thickness required in order to carry out coupling to a PtMn layer and a magnetic target so that the oxygen by NOL may not go to PtMn and. However, it is more desirable as thin, if coupling of the effect of the oxygen by NOL15 can be temporally carried out with the range which does not reach a PtMn layer, and a PtMn layer.

[0085] Moreover, since the magnetic thickness of the magnetization pin layers 13 and 17 tends to become thick in NOL-SPSV, the one where the magnetic thickness of these magnetization pin layers 13 and 17 is also possible smaller is desirable. For example, in order to reduce saturation magnetization, it is also desirable to add alloying elements, such as Cr, B, and Cu. Although thickness serves as CoFe0.5nm here, 0.3nm - its about 1.5nm is desirable. Fe besides a CoFe alloy, Fe system alloy, nickel, nickel alloy, etc. are sufficient as a magnetic material here. For example, CoFeCr, CoFeB, CoFeCu, etc. can be used.

[0086] NOL15 is possible also for oxidizing and forming the surface which formed the magnetization pin layer 13, and can also form an oxide film.

[0087] Carry out an oxygen flow to the method of oxidizing a surface of metal in an ultra-high vacuum, plasma oxidation is carried out, or there are methods, such as UV oxidation and oxidation by the oxygen ion beam. At this time, it is necessary to take care so that it may not oxidize to the antiferromagnetism layer 11 under the magnetization pin layer 13.

[0088] There are the method of forming an oxide target by the spatter, a method carry out the spatter of the metal target in an oxygen ambient atmosphere, and according to a reactant spatter, etc. as method of forming an oxide film. This thickness of NOL15 has about 0.1nm or more desirable about 5nm or less. About 1nm or more about 2nm or less is desirable especially desirably. Since it is the ferromagnetic layer which influences MR rate of change greatly, also when making it into the magnetization pin layer 17 of low MAG thickness, as for the magnetization pin layer 17 formed on NOL15, it is desirable to seldom make [ many ] an alloying element.

[0089] Desirably, Co and a CoFe alloy may be good and a NiFe alloy is sufficient as them. In order to make it low [ Bs ], when adding B and Cu into a CoFe alloy, it is addition [ of a minute amount ] 3 - 10atomic%.

[0090] Cu layer formed on the magnetization pin layer 17 is a non-magnetic layer 19, and its about 1.5 to about 3nm thickness is desirable. About 2 to about 2.5nm is desirable especially desirably. If the thickness of a non-magnetic layer 19 and the surface smoothness on the surface of a layer worsen, since the magnetic field strength of association between layers between the magnetization free layer 21 and the magnetization pin layer 17 (inter-layer coupling) will increase, the surface smoothness on the surface of a layer is important.

[0091] Usually, although the magnetization pin layer 17 and the magnetization free layer 21 carry out the ferromagnetic-like magnetization array in many cases, there is also a case of antiferromagnetism-magnetization array association. Whichever it makes it, it is desirable not to become the not much big value of  $H_{in}$ . As a value of  $H_{in}$ , it is [ about ]. -20 or more-Oe about +20 or less Oes are desirable (antiferromagnetism magnetization array of the time of the time of being + being [ a magnetization pin layer and a magnetization free layer ] the ferromagnetic-like magnetization array and -). Abbreviation-10Oe to abbreviation +10Oe is desirable still more desirably.

[0092] The CoFeNi layer which makes the magnetization free layer 21 is formed by Cu layer top. It is possible to use the CoFe/NiFe laminating free layer and monolayer CoFe free layer to which CoFe is in contact with the non-magnetic layer 19, a monolayer CoFeNi free layer, etc. as a configuration of the magnetization free layer 21. By addition of nickel, the monolayer CoFeNi layer used in the example 1 has realized control of magnetostriction, and good soft magnetism.

[0093] In addition, for using the mirror plane electronic reflection effect by NOL25, the thinner one of the thickness of the magnetization free layer 21 is desirable. About 1nm or more and about 4nm or less are specifically desirable, and about 1.5nm or more and about 3nm or less are good more preferably.



[0094] Cu layer by which the laminating is carried out on the magnetization free layer 21 is HCL23, and is equipped with the effect of bias point adjustment. That is, it becomes possible to reduce the current magnetic field  $H_{cu}$  impressed to a free layer by bringing the current center which flows in a spin bulb film close to a magnetization free layer from a magnetization pin layer side by Cu layer.

[0095] However, if HCL23 is thickened, it is not so desirable in order that MR rate of change may decrease with a shunt. As a desirable range, about 0.5nm or more and about 2nm or less about 3nm or less about 0.3nm or more is still more preferably good.

[0096] In addition, this thickness of HCL23 is a \*\*\*\* thing greatly, and should be changed into the bias point in accordance with the magnitude of the magnetization pin layer leakage magnetic field  $H_{pin}$ . The thickness of HCL23 is behind explained in full detail with that of BCL thickness.

[0097] The TaO cap layer 27 on Cu layer has the specular reflection effect, and it is desirable that it is an oxide layer. The metallic oxide of others, such as AlO, TiO, CrO, WO, VO, ZrO, HfO, FeO, CoO, etc. except TaO, is also available for a material. Moreover, a metal Ta layer may be further formed as a cap layer on an oxide layer.

[0098] In addition, although the magnetization pin layers 13 and 17 explained the bottom type spin bulb located in a lower layer rather than the magnetization free layer 21 by this example, the top type with which it is not limited to a bottom type and a magnetization pin layer is formed in the upper layer rather than a magnetization free layer is sufficient as this invention.

[0099] There is TaO/Cu 1 nm/NiFe 1 nm/CoFe 1 nm/Cu 2.2 nm/CoFe 2 nm/NOL 1.5 nm/CoFe 0.5 nm/PtMn 10 nm/NiFeCr 1 nm/CoFe 1.5 nm/Ta 3nm etc. in a top type. Lower layer TaO NOL for magnetization [ a buffer layer-cum-] free layers, and Cu layer of the upper layer here A substrate [ HCL-cum-] seed layer, A NiFe layer and a CoFe layer carry out ferromagnetic association mutually, and constitute a magnetization free layer. For an antiferromagnetism layer and a NiFeCr layer, a magnetic coupling cutting layer (decoupling layer) and a CoFe layer are [ the magnetization pin layer and PtMn layer to which CoFe layers carried out / a spacer layer, a CoFe layer, NOL and a CoFe layer / ferromagnetic association of the Cu layer / BCL and Ta layer ] cap layers. The material of each class and modification of thickness are the same as that of a bottom type.

[0100] Next, the thickness of HCL23 is explained.

[0101] By forming HCL23 formed in contact with the magnetization free layer 21, the current magnetic field  $H_{cu}$  reduces the current magnetic field  $H_{cu}$ .

[0102] Since the decrement of MR rate of change by adoption of an ultra-thin magnetization free layer will raise the effective thickness of the magnetization free layer 21 by NOL-SPSV according to the mirror plane electronic reflection effect by NOL 15 and 25 at this time, the thickness of HCL23 determines the reduction effect of a current magnetic field as top priority. And the rest is determined in order to fill up the reduction effect of the magnetic-reluctance rate of change by shunt splitting by HCL23.

[0103] specifically, the thickness of HCL23 uses Ta cap layer 27 of a 3nm of degrees which can disregard the shunt of the bottom type cap layer 27, for example, average thickness, as indispensable thickness -- it comes out, and if it is, using Cu as HCL23, it can be referred to as about 0.3nm or more and about 2nm or less, and they are about 0.5nm or more and about 25nm or less desirably. The maximum of thickness is for resistance rate of change to fall by shunt splitting, if thickness of HCL23 is thickened, and the minimum of thickness is for acquiring the effect of a spin filter.

[0104] On the other hand, cautions are required for magnetization of BCL7 not to necessarily fix to a magnetization pin layer and the reverse sense completely, although Sy-AF structure is not used for the magnetization pin layers 13 and 17 but being compensated by BCL7 about the leakage magnetic field  $H_p$  from other ferromagnetic layers which join the magnetization free layer 21.

[0105] That is, as above-mentioned, the magnetization direction of BCL7 fixes by the current magnetic field  $H_{cu}$ BCL and the leakage magnetic field  $H_{pin}$ BCL from the magnetization pin layer 13, and, generally fixing of the magnetization direction of BCL7 by these two magnetic fields has turned to it in the height direction completely rather than magnetization fixing by Sy-AF in many cases.

[0106] Therefore, the magnitude of HBCL in the above-mentioned (2) formula becomes smaller than the

case where it fixes to the magnetization pin layers 13 and 17 and an opposite direction completely. That is, when it is going to have an effect equivalent to the bias compensation in Sy-AF structure, BCL7 needs magnetic thickness rather than one magnetic layer of Sy-AF structure.

[0107] The difference of Sy-AF structure and BCL7 becomes so remarkable that the magnitude of the sense current magnetic field  $H_{cuBCL}$  is small, and the difference will become small if sense current is conversely large enough. Moreover, by the leakage magnetic field from the magnetization pin layers 13 and 17, if a difference with Sy-AF structure becomes small and its magnetization pin layers 13 and 17 are thinner as its magnetic thickness of a pin layer is thick, since BCL7 fixes in the magnetization direction of the reverse sense, it will become reverse.

[0108] In addition, as a perfect ideal condition, the magnetic thickness of the magnetization pin layers 13 and 17 is thick enough, and if the part of the imperfect difference of magnetization fixing to the height direction of BCL7 is taken into consideration when sense current is sufficiently large, (1) and (2) types can be filled easily.

[0109] When analysis using a LLG (Landau Lifshits Girbard) micro magnetic simulation was performed and having been compared with Sy-AF, the imperfection of the pin magnetization direction of BCL7 was about 70% to about 95%. That is, 1.1 times as many ~ [ as this ] 1.4 times as much magnetic thickness as one magnetic layer [ in / in BCL7 / Sy-AF structure ] is needed.

[0110] The magnetic thickness of the antiferromagnetism layer side magnetization pin layer 13 by CoFe conversion About 1.0nm or more, It is set to about 3nm or less (they are about 1.8nm or more and about 5.4nm or less by NiFe conversion). (2) Since it is  $^{**}tpin$  ( $^{**}tpin = (Msxt) \text{ pin} - (Msxt) \text{ BCL}$ ) permitted for the effective pin leakage magnetic field by the formula, and 0.5nmT-2nmT, the effective pin layer MAG thickness to the height direction by BCL7 serves as 0.9nmT-4.9nmT.

[0111] In addition, as above-mentioned, since the about 1.1 to about 1.4 times as many thickness of one magnetic layer of Sy-AF structure as this is required, about 0.6nm or more of about 3.8nm or less of thickness actually required for BCL7 is needed by NiFe conversion thickness with about 1nm or more, about 6.9nm or less, and CoFe conversion.

[0112] Although it assumed here that magnetic thickness of the antiferromagnetism layer side magnetization pin layer 13 was made thinly, since it becomes thick when NOL15 is included in fact, as a desirable range, about 1nm or more and about 2.5nm or less are good at about 1.8nm or more, about 4.5nm or less, and CoFe conversion in NiFe conversion.

[0113] The LLG micro magnetic simulation result which calculates the optimum value of BCL with the film configuration of an example 1 of having gone to accumulate is shown in drawing 3.

[0114]  $^{**}tpin$  of zero asymmetry [nmT] is the value of  $\Delta tpin$  in case good object nature (asymmetry) is obtained. Moreover, it corresponds to the ideal condition that pin layer full fixing (Pin fixed) has turned to the one direction completely [ magnetization of a magnetization pin layer / the height direction ], and it corresponds to an inclination or a cone condition by the leakage magnetic field from the hard film 29 rather than an ideal condition as Hua 800 [Oe] and 400 [Oe] show the one direction anisotropy of a magnetization pin layer and the value becomes small.

[0115] The width of recording track of the magneto-resistive effect film 28 decided by the hard film / lead inter-electrode distance is 0.5mm, and height is 0.3mm.

[0116] In drawing 3, a horizontal axis is the relative strength of hard thickness, and is searched for by the ratio of the magnetic thickness ( $Msxt$ ) hard of a hard film, and the magnetic thickness ( $Msxt$ ) free of a free layer. With an actual arm head, since bias values differ, there is no semantics in the absolute value of a horizontal axis not much, and an ideal system is a relative value in the range which a Barkhausen noise does not produce on count. In addition, sense current is changed as a parameter.

[0117] Moreover, in drawing 2, the bias point is an optimum value, and an axis of ordinate is the thickness of BCL7 in case the sex for un-of a signal wave form becomes zero, is the magnetic thickness (nmT) of NiFe conversion on left-hand side, and shows the thickness of CoFe conversion of saturation magnetization 1.8T to right-hand side.

[0118] Consequently, although it changes also with uniaxial anisotropy Hua of the magnetization pin layers 13 and 17, it turns out that the thickness at the time of setting BCL7 to CoFe of saturation



magnetization 1.8T is about 1nm or more and a range where about 2.5nm or less is desirable.

[0119] Optimum conditions will shift to the side with thin BCL thickness, so that sense current is so large that [ as these ranges have the thick thickness of the nonmagnetic high conductive layer HCL23, ] Hua is larger to a side also with thick BCL thickness to a side with thin BCL thickness.

[0120]

[Effect of the Invention] an oxide, a nitride, and carbide -- suiting -- it has a layer containing fluoride and the resistance detection method of the magnetic regenerative apparatus which carries a magneto-resistive effect element equipped with the good bias point, a magneto-resistive effect arm head, and this, magnetic storage, and a magneto-resistive effect film can be offered.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

DESCRIPTION OF DRAWINGS

---

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1] It is the cross section of the magneto-resistive effect element concerning the first operation gestalt.

[Drawing 2] It is an expanded sectional view for explaining bias point adjustment of the magneto-resistive effect element concerning the first operation gestalt.

[Drawing 3] It is drawing in the first example showing a count result.

[Description of Notations]

7 -- BCL

9 ... Decoupling layer

11 -- Antiferromagnetism layer

13 -- Magnetization pin layer

15 -- NOL

17 -- Magnetization pin layer

19 -- Nonmagnetic spacer layer

21 -- Magnetization free layer

23 -- HCL

25 -- NOL

29 -- Bird bias film

31 -- Lead electrode

---

[Translation done.]

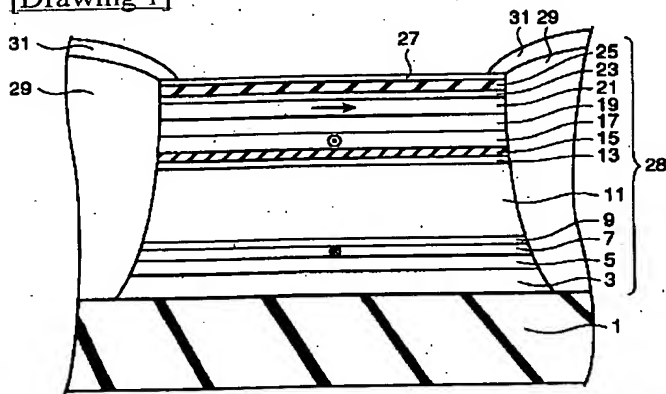
## \* NOTICES \*

Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

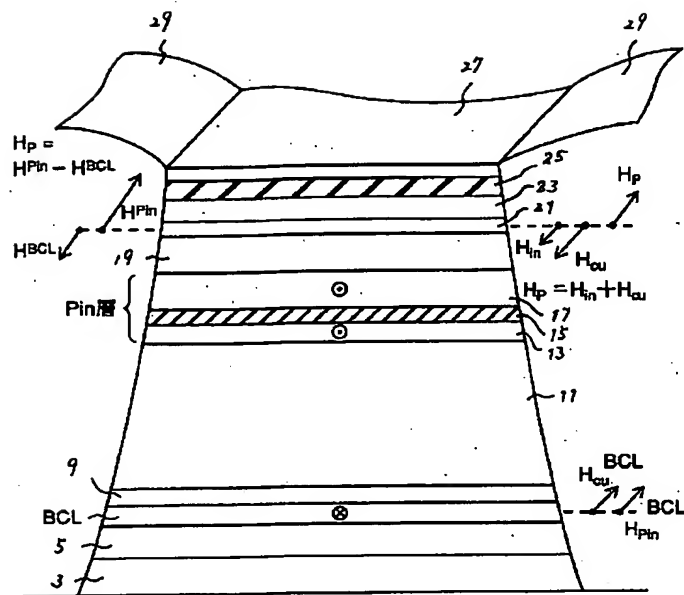
## DRAWINGS

[Drawing 1]



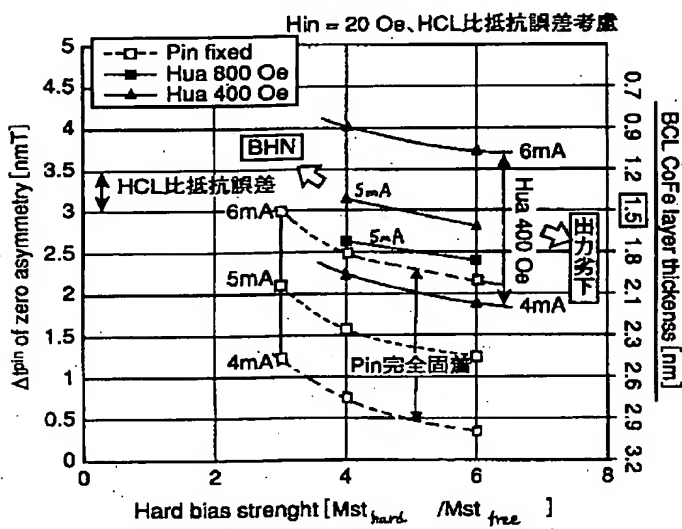
- |             |              |
|-------------|--------------|
| 1: 基板       | 15: NOL      |
| 3: バッファ層    | 17: 磁化ピン層    |
| 5: シールド層    | 19: 非磁性層     |
| 7: BCL      | 21: 磁化フリー層   |
| 9: デカップリング層 | 23: HCL      |
| 11: 反強磁性層   | 25: NOL      |
| 13: 磁化ピン層   | 27: キャップ層    |
|             | 29: ハードバイアス膜 |
|             | 31: リード電極    |

[Drawing 2]



[Drawing 3]

LLGシミュレーションによるBCL最適膜厚予測



[Translation done.]

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-232035

(P2002-232035A)

(43) 公開日 平成14年8月16日 (2002.8.16)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テマート* (参考)
H 0 1 L 43/08		H 0 1 L 43/08	Z 2 G 0 1 7
			B 5 D 0 3 4
G 0 1 R 33/09		G 1 1 B 5/39	5 E 0 4 9
G 1 1 B 5/39		H 0 1 F 10/16	5 F 0 8 3
H 0 1 F 10/16		10/30	

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 12 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-23395(P2001-23395)

(22) 出願日 平成13年1月31日 (2001.1.31)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72) 発明者 福澤 英明

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(72) 発明者 岩崎 仁志

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発センター内

(74) 代理人 100083161

弁理士 外川 英明

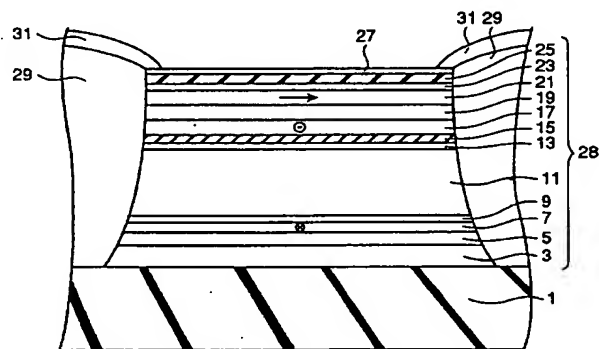
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 磁気抵抗効果素子、磁気再生ヘッド、磁気再生装置、磁気記憶装置、及び磁気抵抗効果膜の抵抗検知方法

(57) 【要約】

【課題】 高い磁気抵抗変化率を示し、良好なバイアスポイントを有する磁気抵抗効果素子等の提供。

【解決手段】 第一の強磁性層21と、第一の非磁性層19と、第二の方向の磁化を備える第二の強磁性層13、17と、第二の非磁性層9と、第三の強磁性層7と、第二の強磁性層の層中に形成された、酸化物を主成分として含む層15とを備える磁気抵抗効果膜28、及び、磁気抵抗効果膜28に電気接続され、第三の強磁性層5における電流磁界が第二の方向と逆になる方向に電流を流す一対の電極31を備える。第三の強磁性層5から第一の強磁性層21に印加される漏洩磁界の向きが、第一の強磁性層21に印加される、第二の強磁性層13、17からの漏洩磁界、電流磁界、及び第一の強磁性層21と第二の強磁性層13、17との層間結合による層間結合磁界の和により得られる磁界の向きを打ち消す方向とすることができる。



- |             |              |
|-------------|--------------|
| 1: 基板       | 15: NOL      |
| 3: バッファ層    | 17: 磁化ピン層    |
| 5: シード層     | 19: 非磁性層     |
| 7: BCL      | 21: 磁化フリー層   |
| 9: デカップリング層 | 23: HCL      |
| 11: 反強磁性層   | 25: NOL      |
| 13: 磁化ピン層   | 27: キャップ層    |
|             | 29: ハードバイアス膜 |
|             | 31: リード電極    |

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 印加磁場がゼロの状態では第一の方向の磁化を備え、所定の印加磁場のもとで前記磁化が回転可能な第一の強磁性層と、前記第一の強磁性層に積層形成された第一の非磁性層と、前記第一の非磁性層に積層形成され、前記印加磁場がゼロの状態及び前記所定の印加磁場のもとで第二の方向の磁化を保持する第二の強磁性層と、前記第二の強磁性層に積層形成された第二の非磁性層と、前記第二の非磁性層に積層形成された第三の強磁性層と、前記第二の強磁性層の層中、もしくは前記第二の強磁性層と前記第二の非磁性層の間に形成された、酸化物、窒化物、炭化物、もしくは弗化物を含有する層とを備える磁気抵抗効果膜、及び、前記第三の強磁性層における電流磁界の方向が前記第二の方向と逆となるように前記磁気抵抗効果膜に電流を流す一対の電極を備えることを特徴とする磁気抵抗効果素子。

【請求項 2】 前記第三の強磁性層から前記第一の強磁性層に印加される漏洩磁界の向きが、前記第一の強磁性層に印加される、前記第二の強磁性層からの漏洩磁界、電流磁界、及び前記第一の強磁性層と前記第二の強磁性層との層間結合による層間結合磁界の和により得られる磁界の向きを打ち消す方向であることを特徴とする請求項 1 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 3】 前記第一の強磁性層の、前記第二の非磁性層と接する面と反対側の面に積層形成された、Cu、Au、Ag のいずれかの元素を含有する第三の非磁性層を有することを特徴とする請求項 1 または 2 記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 4】 前記第一の強磁性層の平均膜厚が 3nm 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 5】 前記第三の強磁性層の磁気膜厚が、飽和磁化 1 T の材料換算で 1.8nm 以上 4.5nm 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 6】 前記第三の強磁性層が CoFe 合金を 50 at omic % 以上含有し、平均膜厚が 1nm 以上 2.5nm 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 7】 前記酸化物、窒化物、炭化物、もしくは弗化物を含有する層の平均膜厚が 1nm 以上 2nm 以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 8】 前記第二の強磁性層及び前記第二の非磁性層との間に形成され前記第二の強磁性層に接する反強

磁性層とを備えることを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子。

【請求項 9】 請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子を備えることを特徴とする磁気再生ヘッド。

【請求項 10】 請求項 9 に記載の磁気再生ヘッドを搭載することを特徴とする磁気再生装置。

【請求項 11】 請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の磁気抵抗効果素子を複数個備えることを特徴とする磁気記憶装置。

【請求項 12】 印加磁場がゼロの状態では第一の方向の磁化を備え、所定の印加磁場のもとで前記磁化が回転可能な第一の強磁性層と、前記第一の強磁性層に積層形成された第一の非磁性層と、前記第一の非磁性層に積層形成され、前記印加磁場がゼロの状態及び前記所定の印加磁場のもとで第二の方向の磁化を保持する第二の強磁性層と、前記第二の強磁性層に積層形成された第二の非磁性層と、前記第二の非磁性層に積層形成された第三の強磁性層と、前記第二の強磁性層の層中、もしくは前記第二の強磁性層と前記第二の非磁性層の間に形成された、酸化物、窒化物、炭化物、もしくは弗化物を含有する層とを備える磁気抵抗効果膜に、前記第三の強磁性層における電流磁界が前記第二の方向と逆になる方向に電流を流して前記磁気抵抗効果膜の抵抗値を検知することを特徴とする磁気抵抗効果膜の抵抗検知方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、磁気抵抗効果を利用した磁気抵抗効果素子、磁気再生ヘッド、これを搭載した磁気再生装置、磁気記憶装置、及び磁気抵抗効果膜の抵抗検知方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、ハードディスクドライブ (HDD) の高密度化に伴い、外部磁場がゼロの状態では互いの磁化が略直交する 2 つの強磁性層とこれらの間に挿入された非磁性層を備え、2 つの強磁性層の相対的な磁化方向に依存して電気抵抗が変化するスピバルブ (SV) 膜を備える SV-GMR (Spin-Valve Giant MagnetoResistive) ヘッドが採用され始めた。今後、更なる高密度化のためには、より高感度の SV-GMR ヘッドが必要であり、高出力をもたらす磁気抵抗効果変化率 (MR 変化率) のさらなる向上や、SV-GMR の膜厚、特に、信号磁界に応じて磁化の向きが変化する感磁層 (磁化フリー層) の極薄化が重要である。

【0003】磁化フリー層を数 nm まで極薄化し、この磁化フリー層に隣接する高導電層を備えたスピフィルター (SFSV: Spin-Filter Spin-Valve) 膜が提案され実用化されている。SFSV では磁化フリー層の薄膜化に伴う磁化感度向上により高出力再生ヘッドを実現するものである。

【0004】さらに、SFSVに続く技術として、MR変化率の向上のためにスペキュラー（電子鏡面反射）効果を利用し、かつ実用的なスピバルブ膜構造を有する、NOL-SPSV (Nano Oxide Layer - SPecular Spin-Valve) 膜が提案されている。この膜は、NOLと呼ばれる極薄の酸化層を、磁化フリー層、もしくは、磁化フリー層と中間非磁性層を介して積層された磁化固着層（磁化ピン層）中に挿入しその界面で伝導電子を鏡面反射させることによって、スピバルブ膜を擬似的な人工格子膜のようにして、MR変化率を稼ぐものである。この構造の発明によって、スピバルブ膜のMR変化率を飛躍的に向上させることが可能である。

#### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、NOL-SPSVを実際にセンサーや磁気ヘッドへ適用しようとしたときに、次に述べる問題点が生じることを本発明者らは発見した。

【0006】まず、極薄の磁化フリー層を用いることは、高密度再生を狙うNOL-SPSV膜において必須だが、この極薄磁化フリー層を用いる場合には、バイアスポイント（ヘッド動作時の動作点）の調整が困難になる。そのため、磁化フリー層に加わる様々な磁界を小さくすることが重要である。その中でも、磁化ピン層の漏洩磁界（ $H_{pin}$ ）は磁化フリー層の磁化へ大きな影響を与える。

【0007】この磁化ピン層の漏洩磁界を小さくするために、SFSVでは、非磁性層を介して積層した2つの強磁性層間をシンセティック結合（反強磁性的結合、以降Sy-AFとする。）させたSy-AF構造を磁化ピン層に採用している。

【0008】このSy-AF構造では、平均膜厚が9オングストローム程度のRu等の非磁性層を介して、これを挟む上下の強磁性ピン層が反強磁性的結合をしている。従って、磁化ピン層からの漏洩磁界は、上下のピン層磁気膜厚（ $M_s \times t$ （飽和磁化×膜厚））の差となり、磁化ピン層を極端に薄くせずに磁化フリー層に加わる実質的なピン層漏洩磁界を低くできる。Sy-AF構造の詳細については、特許公報第2786601号に開示されている。

【0009】このように磁化ピン層の漏洩磁界を低減しつつ、さらにCu層等の高導電層を用いることで磁化フリー層における電流磁界（ $H_{cu}$ ）を小さくし、かつ、非磁性スペーサ層を介した磁化フリー層及びピン層間の間接層間結合磁界（ $H_{in}$ ）を小さくしたうえで、 $H_{pin} + H_{cu} + H_{in} = 0$ の関係が成り立つように電流方向を選択することで、Sy-AF構造を用いたSFSVでは良好なバイアスポイントを実現していた。

【0010】ところが、NOL-SPSV膜においてSy-AF構造を実現しようすると、Sy-AF構造の上記特性が出なくなるという問題が明らかになった。その詳細な理由は明らかでないが、例えば、NOL層中の酸素、窒素、弗素、

炭素等が熱処理によってSy-AF構造のRu層に拡散し、Ruを介した上下磁化ピン層の反強磁性的結合を弱めるといった現象が原因と考えられる。すると、Sy-AF構造をNOL-SPSVで採用できなくなり、磁化ピン層からの漏洩磁界を低減することができなくなって、良好なバイアスポイントが実現できなくなると思われる。

【0011】一方、磁化ピン層からの漏洩磁界を完全にゼロにキャンセルするために、磁性キーパー層を用いるという概念がある（特開平8-55312公報）。これは、スピバルブ膜の上下どちらかの膜面に軟磁性キーパー層を積層し、電流磁界によってこの軟磁性キーパー層の磁化方向が磁化ピン層の磁界方向と逆向きになるようにして、ピン層漏洩磁界をキャンセルするものである。

【0012】この磁性キーパー層を用いたキャンセル方法は、ピン層漏洩磁界を完全にゼロにし、かつ $H_{in} = H_{cu}$ でキャンセルするという手法（ $H_{in} = H_{cu}$  ,  $H_{pin} = 0$ ）によってバイアスポイントを調整している。比較的低密度記録では、磁化フリー層が厚いので磁化フリー層の外部磁化感度が鈍い。また、磁化フリー層が厚いため、磁化フリー層のSV膜中にしめる磁化フリー層の伝導コンダクタンスの割合が大きく、従って、電流磁界が比較的小さくなり、これを小さい層間結合磁界 $H_{in}$ によりキャンセルすることが可能となり、磁性キーパー層によるキャンセル方法は有効となる。

【0013】しかしながら、高記録密度を狙うNOL-SPSVの磁化フリー層の膜厚は薄くなると予想され、これに伴い $H_{cu}$ は増大する為に磁性キーパー層によるキャンセル方法では、限界がある。

【0014】尚、電流磁界が大きすぎることを大きな問題としていないことは、上記公開公報に記載された膜構造を見ると容易にわかる。つまり、先述した、SFSVにおいて磁化フリー層への電流磁界を低減するために、磁化フリー層に高導電層を接触形成することにより、電流磁界を低減することが高密度化ヘッドにおいては必須だが、特開平8-55312公報においては全くその記述がないからである。

【0015】さらに、 $H_{in}$ をキャンセルする方向に電流を流してバイアスポイントを実現するという手法は、NOL-SPSVにおいては現実的でない。つまり、電流磁界 $H_{cu}$ の方が $H_{in}$ よりも大きく、 $H_{in} = H_{cu}$ という設計は非常に困難である。

【0016】このように、従来のバイアスポイント調整方法では、NOL-SPSVのバイアスポイントを良好に調整することが困難であった。

【0017】本発明は、以上述べた従来の技術における問題点を端緒として、良好なバイアスポイントを有する磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果ヘッド、これを搭載する磁気再生装置、磁気記憶装置、及び磁気抵抗効果膜の抵抗検知方法を提供することを課題とする。

## 【0018】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の一形態は、印加磁場がゼロの状態では第一の方向の磁化を備え、所定の印加磁場のもとで磁化が回転可能な第一の強磁性層と、第一の強磁性層に積層形成された第一の非磁性層と、第一の非磁性層に積層形成され、印加磁場がゼロの状態及び所定の印加磁場のもとで第二の方向の磁化を保持する第二の強磁性層と、第二の強磁性層に積層形成された第二の非磁性層と、第二の非磁性層に積層形成された第三の強磁性層と、第二の強磁性層の層中、もしくは第二の強磁性層と第二の非磁性層の間に形成された、酸化物、窒化物、炭化物、もしくは弗化物を含有する層とを備える磁気抵抗効果膜、及び、第三の強磁性層における電流磁界の方向が前記第二の方向と逆となるように磁気抵抗効果膜に電流を流す一対の電極を備えることを特徴とする磁気抵抗効果素子を提供する。

【0019】また、上記磁気抵抗効果素子は、ヘッドジンバルアセンブリ等に搭載される磁気再生ヘッドを構成できる。また、この磁気再生ヘッドと磁気情報を記録した磁気記録媒体を搭載した磁気再生装置は、従来以上に高記録密度化への対応を実現することが可能である。尚、磁気記録媒体を取り外し可能とした磁気再生装置についても、本発明の磁気抵抗効果素子を用いることが可能である。

【0020】また、上記磁気抵抗効果素子は、トランジスタあるいはダイオードとともに、あるいは単独でメモリセルを構成することができる。この磁気抵抗効果素子を集積形成することで、不揮発性の半導体記憶装置を構成することができる。

【0021】さらにまた、本発明の他の形態は、印加磁場がゼロの状態では第一の方向の磁化を備え、所定の印加磁場のもとで前記磁化が回転可能な第一の強磁性層と、第一の強磁性層に積層形成された第一の非磁性層と、第一の非磁性層に積層形成され、印加磁場がゼロの状態及び所定の印加磁場のもとで第二の方向の磁化を保持する第二の強磁性層と、第二の強磁性層に積層形成された第二の非磁性層と、第二の非磁性層に積層形成された第三の強磁性層と、第二の強磁性層の層中、もしくは第二の強磁性層と第二の非磁性層の間に形成された、酸化物、窒化物、炭化物、もしくは弗化物を含有する層とを備える磁気抵抗効果膜に、第三の強磁性層における電流磁界が第二の方向と逆になる方向に電流を流して磁気抵抗効果膜の抵抗値を読むことを特徴とする磁気抵抗効果膜の抵抗検知方法に関する。

【0022】以上述べた磁気抵抗効果素子、磁気再生ヘッド、磁気再生装置、及び磁気抵抗効果膜の抵抗検知方法において、次の構成を備えることが可能である。

1. 第一の強磁性層が前記第二の非磁性層と接する面と反対側の面に積層形成された、Cu、Au、Agのい

れかの元素を含む第三の非磁性層を有する。その含有量は、50atomic%以上 含む非磁性層としてもよい。

2. 第一の強磁性層の平均膜厚が3nm以下である。

3. 第三の強磁性層の磁気膜厚が、飽和磁化1Tの材料換算で1.8nm以上4.5nm以下である。

4. 第三の強磁性層がCoFe合金を50atomic%以上含有し、平均膜厚が1nm以上2.5nm以下である。

5. 酸化物、窒化物、炭化物、もしくは弗化物を含有する層の平均膜厚が1nm以上2nm以下である。この層の酸化物、窒化物、炭化物、もしくは弗化物の含有量は、50atomic%以上とすることができる。

6. 第三の強磁性層から第一の強磁性層に印加される漏洩磁界の向きが、第一の強磁性層に印加される、第二の強磁性層からの漏洩磁界、電流磁界、及び第一の強磁性層と第二の強磁性層との層間結合による層間結合磁界の和により得られる磁界の向きを打ち消す方向である。

7. 第二の強磁性層及び第二の非磁性層との間に形成され、第二の強磁性層に接する反強磁性層とを備える。

## 【0023】

【発明の実施の形態】（第1の実施形態）次に、本発明の一形態に関する磁気抵抗効果素子について説明する。

【0024】まず、この形態の磁気抵抗効果素子は、印加磁場がゼロの状態では第一の方向の磁化を備え、所定の印加磁場によって前記磁化が回転可能な第一の強磁性層と、第一の強磁性層に積層形成された第一の非磁性層と、非磁性中間層に積層形成され、印加磁場がゼロの状態及び前記所定の印加磁場において第二の方向の磁化を保持する第二の強磁性層を備える。

【0025】この、第一の強磁性層は、信号磁界等の印加磁場が加わると磁化が回転する磁化フリー層である。この磁化フリー層は、第一の非磁性層としてCu等を含むスペーサ層を介して、第二の強磁性層と積層形成される。この第二の強磁性層は、印加磁場がゼロの状態及び第一の強磁性層の磁化が回転する所定の印加磁場においてもその磁化方向を保持する磁化ピン層である。

【0026】この磁化ピン層の第二の方向への磁化固着（ピニング）には、磁化ピン層の材料として所定の印加磁場においても磁化を維持する程度に高い保磁力を有する強磁性材料を用いる方法、反強磁性層と積層形成して反強磁性層との磁気交換結合によって固着する方法、硬質磁性層を磁化ピン層の近く、あるいは隣接配置してその漏洩磁界により固着する方法等がある。

【0027】第一及び第二の方向は、同一でもよいが、異なることが好ましく、さらには、互いに略直角をなすことも可能である。第一及び第二の方向が略直角を成す素子がいわゆるスピンバルブ素子である。

【0028】磁気抵抗効果素子の電気抵抗は、磁化フリー層の磁化が信号磁界に応じて変化して第二の方向と等しい状態で低抵抗を示し、磁化フリー層の磁化が第二の方向と略反平行の状態で高抵抗を示す。



【0029】このような抵抗変化は、磁化フリー層、磁化ピン層の両強磁性層と非磁性スペーサ層との界面において、電子が強磁性層の磁化（スピン）の方向に依存して散乱を受けるためである（スピン依存界面散乱）。

【0030】本実施形態では、このような磁気抵抗効果素子の磁化ピン層の層中、もしくは、磁化ピン層の非磁性スペーサ層と接する側と反対側の面に形成された、酸化物、窒化物、炭化物、もしくは弗化物を含む層を備える。この層は、磁気抵抗効果素子中を移動してきた電子を鏡面反射（スペキュラ）するもので、非磁性スペーサ層から磁化ピン層中を通りこの層の鏡面に達した電子にとって、非磁性スペーサ層と磁化ピン層及び磁化フリー層との界面が擬似的に増えることになり、その散乱数を増やすことができる。

【0031】尚、この酸化物、窒化物、炭化物、もしくは弗化物を含有する層の平均膜厚は、これを挟む磁性層同士の磁気結合力等を好適な値とする観点から、0.5nmから5nm程度が好ましい。以降、この層については、酸化物を主成分として備える層を例にして、NOLと称する。

【0032】本実施形態のNOL-SPSVでは、磁化フリー層にかかる外部磁場（バイアス）を補償するBCL（Bias Compensation Layer）として、第三の強磁性層を新たに備える。このBCLには、軟磁性材料等が好ましい。

【0033】このBCLから磁化フリー層へ印加される漏洩磁界によって、磁化フリー層へ印加される、磁化ピン層からの漏洩磁界、電流通電によって生じる電流磁界、及び磁化ピン層と磁化フリー層との層間結合による層間結合磁界の和を打ち消すことにより、この磁気抵抗効果素子のバイアスポイントを調整するものである。つまり、磁化フリー層の印加磁場ゼロにおける磁化方向を所望の第一の方向とすることが可能となる。

【0034】尚、このバイアスポイントの調整には、BCLにおける電流磁界の方向を磁化ピン層の磁化方向（第二の方向）と逆方向とする様に電流を流すことが必要である。

【0035】また、第二の非磁性層は、磁化ピン層とBCLとの間の磁気的結合を防ぐために必要である。

【0036】このような、NOL-SPSVにおける良好なバイアスポイントは、次に述べるような、発明者らの研究の結果、本実施形態によって実現できることが明らかになった。以下に、その内容について詳述する。

【0037】まず、磁化ピン層との層間結合によって磁化フリー層にかかる層間結合磁界 $H_{in}$ をなるべく小さくし、他の強磁性層からの漏洩磁界 $H_p$ と電流磁界 $H_{cu}$ を磁化フリー層に印加する主な磁気バイアスと捉えてバイアスポイントを調整する方法（ $H_p = H_{cu} + H_{in}$ 、但し、磁化ピン層と磁化フリー層が強磁性的磁化配列をなしている場合に $H_{in}$ は正の値、反強磁性的磁化配列をなしている場合に $H_{in}$ は負の値、と定義する）が、高密度再生に最

も現実的な方法であると思われる。

【0038】つまり、磁気フリー層への静磁界となる $H_p$ と $H_{cu}$ が逆向きとなるようにして、バイアスポイントを調整するのである。そして、 $H_p$ の値は、BCLによるバイアス補償効果を利用して解決する。

【0039】つまり、BCLから磁化フリー層へ印加される漏洩磁界 $H^{BCL}$ の方向を、磁化ピン層から磁化フリー層へ印加される漏洩磁界 $H^{pin}$ と逆方向にすることで、 $H_p$ の増大を解決するものである。

【0040】本発明におけるバイアスポイント調整の概念を下式に示す。

【0041】

$$H_p = H_{in} + H_{cu} \quad (1)$$

$$H_p = H^{pin} - H^{BCL} \quad (2)$$

但し、 $H_{in}$ の符号は、 $H_{cu}$ と同方向のときを正と定義する。

【0042】

$$H^{pin} = \pi^2 (M_s \times t)_{pin} / h \quad (3)$$

$$H_{cu} = 2 \pi c \times I_s / h \quad (4)$$

$$c = |(I_1 - I_3) / (I_1 + I_2 + I_3)| \quad (5)$$

$$H^{BCL} = D \times \pi^2 (M_s \times t)_{BCL} / h \quad (6)$$

以上の式（1）～（6）において、 $h$ はMRハイト [ $\mu m$ ]である。また、 $D$ は、1よりも小さい値であり、センス電流値及び磁化ピン層の $M_s \times t$ の値によって変化する。つまり、センス電流値が大きいほど、また、磁化ピン層の $M_s \times t$ の値が大きいほど $D$ は大きい値となり、1に近づく。

【0043】また、 $I_s$ は、磁気抵抗効果膜に流れるセンス電流値を示し、分流値 $I_1$ 、 $I_2$ 、及び $I_3$ の総和を示す。これらの電流値は、磁気抵抗効果膜のうち、一対の電極により電流が流れる領域を上下方向に3分割した各領域に流れる電流値を示し、真中の領域である磁化フリー層を流れる電流値 $I_2$ 、磁化フリー層の上層から電極間にある最上の導電層（図1ではキャップ層27）までの領域を流れる電流値 $I_1$ 、及び磁化フリー層の下層から電極間の最下の導電層（図1ではバッファ層3）までの領域を流れる電流値 $I_3$ である。尚、 $I_s$ は、BCL7における電流磁界が磁化ピン層の磁化方向と逆になる方向に電流を流した場合を正の値としている。

【0044】BCLを用いたバイアスポイントの調整について、具体的な構造を例にして、以下に説明する。

【0045】図1に、本実施形態のボトムタイプスピバルブ膜の概略断面構造を示す。

【0046】本実施の形態の磁気抵抗効果素子は、基板1上に順次形成された、バッファ層3、シード層5、BCL7、BCL7と反強磁性層11の磁気結合を防ぐデカップリング層9、反強磁性層11、磁化ピン層13、NOL15、磁化ピン層17、非磁性層19、磁化フリー層21、HCL23、NOL25、キャップ層27を備える磁気抵抗効果膜28、一対のハードバイアス膜29、一対のリ

ード電極 31 を備える。各層の主成分を構成する材料は、実施例 1 において詳述する。

【0047】尚、磁化ピン層が磁化フリー層よりも積層方向の下側に位置するボトムタイプスピナル膜では、BCL を磁化ピン層よりも下層に配置する。また、磁化ピン層が磁化フリー層よりも積層方向の上層に位置するトップタイプスピナル膜では、BCL を磁化ピン層よりも上層に配置する。

【0048】図 1 において、反強磁性層 11 は、磁化ピン層 13 と交換結合しており、この交換結合による磁気バイアスによって、磁化ピン層 13 の磁化の向きは図 1 の紙面裏から表の方向に固着されている。また、磁化ピン層 17 は磁化ピン層 13 との強磁性交換結合によって、磁化ピン層 13 と同一方向の磁化をもつ。

【0049】磁化ピン層 13、17 の間にある NOL 15 は、磁化ピン層 13 を構成する材料の酸化物を主成分として (50atomic%以上) 含有し、この NOL 15 の磁気ピン層 17 側の表面における鏡面反射効果が期待できる。尚、NOL 15 の主成分は、酸化物のほか、炭化物、窒化物、弗化物等に適宜変更可能である。また、磁化ピン層 13 を構成する材料と異なる材料の酸化物、炭化物、窒化物、弗化物であってもよい。

【0050】磁化ピン層 17 に接する非磁性層 19 は、スピナル素子の非磁性スペーサ層であり、この層の磁化ピン層 17 及び磁化フリー層 21 と接する両表面において、スピン依存散乱が生じる。

【0051】磁化フリー層 21 は、その両側にいわゆるアバット接合構造により形成された一対のハードバイアス膜 29 からの漏洩磁界によって、図 1 の紙面内左右方向に磁化バイアスが付与され、外部磁場がゼロの状態では、この方向の磁化を有する。また、この磁化バイアスにより、磁化フリー層 21 の層内は単磁区化が維持され、バルクハウゼンノイズの対策がなされている。

【0052】この磁化フリー層 21 は、外部磁場が印加されると、その磁化が自由に回転可能なように調整されており、図 1 の紙面表から裏の向きの外部磁場が印加されると、磁化フリー層 21 の磁化はこの向きに追従して変化する。逆に、図 1 の紙面裏から表の向きの外部磁場が印加されると、磁化フリー層 21 の磁化もこの向きに追従して変化する。

【0053】この磁化フリー層 21 の磁化回転によって、磁化ピン層 17 との相対磁化方向が平行、あるいは反平行の関係によって磁気抵抗効果膜 28 の電気抵抗は変化する。つまり、互いの磁化方向が平行の時には、磁気抵抗効果膜 27 の電気抵抗は低く、磁化方向が反平行の時には、磁気抵抗効果膜 27 の電気抵抗は高くなる。この電気抵抗の変化は、磁気抵抗効果膜の両端に接続された一対のリード電極 31 を介して、従来から知られる抵抗変化を検知する検知回路にて検知される。

【0054】磁化フリー層 21 上には、高導電性材料を

含有する HCL 23 が形成され、上述のように、その厚さの調整によって  $H_{cu}$  の値を適宜調整可能である。

【0055】尚、HCL 23 上の NOL 25 は、磁化フリー層 21 側の電子鏡面反射効果を意図して挿入されている。

【0056】この磁気抵抗効果膜 28 における、バイアスポイントの保ち方については、上述の基本式の通りである。

【0057】上記 (1) 式、及び (2) 式とこの素子の構造との関係について、図 2 を参照しつつ説明する。

【0058】図 2 の断面斜視図に示す磁気抵抗効果素子の断面構造は、図 1 のそれと同様であり、各膜構成の説明は省略する。但し、便宜上、図 2 では、図 1 の磁気抵抗効果膜 28 を紙面縦方向にさらに拡大して示す。

【0059】(1) 式を十分に満たすように調整することがバイアスポイント調整上重要となる。可変な因子としては、 $H_p$  と  $H_{cu}$  を利用する。 $H_{cu}$  については、既に説明した様に、磁化フリー層に隣接して形成する非磁性高導電層 (HCL: High Conductance Layer) の膜厚制御によって変えることができる。

【0060】つまり、HCL の膜厚が厚いほど、電流磁界  $H_{cu}$  は小さくなり、膜厚増加による  $H_{cu}$  低減の度合いは、磁気抵抗効果膜 28 のシート抵抗が大きいほど効果が大きくなる。

【0061】簡易的には、その効果の度合いはスピナル膜の各層をパラレルコンダクターモデルで近似することによって、算出することができる。ただし、その際は、各層の比抵抗の値はバルクの値を用いるのではなく、実際に近い膜厚から正、あるいは負の方向へ  $1\text{nm} \sim 2\text{nm}$  ずらしたところでのコンダクタンスの変化量から算出することが必要である。この手法によって、近似的には電流のボルツマンの分布を考慮した比抵抗の値として用いることができる。

【0062】次に、 $H_p$  は、(2) 式にあるように、 $H_p^{\text{pin}}$  と  $H_p^{\text{frees}}$  とから決定される。

【0063】そのうち、 $H_p^{\text{pin}}$  は、磁化ピン層 13、17 の高さ (磁気抵抗効果膜 28 の信号流入面から奥に伸びる高さ) と磁気膜厚 ( $M_s \times t$ ) によって概略決定される。

【0064】但し、簡易には磁化ピン層 13、17 の磁化方向が完全に一方に固着されることを前提しているのに対し、実際には、磁化ピン層 13、17 は完全に所望の方向 (図 1 では紙面裏から表の方向) に固着されていないことを考慮する必要がある。例えば、磁気抵抗効果膜 28 を、ギャップ膜を介してシールド膜により挟持するシールド型ヘッドでは、トラック幅方向 (図 1 では紙面内左右方向) 端部において、シールド膜を備えるといっても多少の曲がり (カーリング) は存在し、また、磁化フリー層を単磁区とするためのハードバイアス膜 29 からのバイアス磁界によって磁化方向が前記所望方向からずれてしまう為である。

【0065】図2において、 $H_{BCL}^{BL}$  は、BCLにより磁化フリー層へ印加される漏洩磁界であり、BCLにおける電流磁界 $H_{Cu}^{BL}$  と磁化ピン層13、17からの漏洩磁界 $H_{pin}^{BL}$  の和からなる。BCLは、磁気抵抗効果膜28中の中なるべく電流磁界がかかりやすく（電流中心位置から上下端より）、かつ、BCLにおける電流磁界（ $H_{Cu}^{BL}$ ）の向きが磁化フリー層にかかる電流磁界（ $H_{Cu}$ ）と逆向きとなる位置に配置する。これにより、 $H_p = H_{pin} + H_{BCL}$  を実現することが可能となり、NOL-SPSVでの良好なバイアスポイントが実現できる。

【0066】一方、(2)式における $H_{BCL}$  は本発明において新たに導入される因子である。

【0067】BCLは強磁性層からなり、その磁化固着方向は磁化ピン層の磁化方向と逆向きとする。これは、BCLに印加される電流磁界（ $H_{Cu}^{BL}$ ）と磁化ピン層からの漏洩磁界（ $H_{pin}^{BL}$ ）の向きを一致させることで、実現可能である。従って、 $H_{BCL}$  は、 $H_{Cu}^{BL} + H_{pin}^{BL}$  により決まり、これらの磁界を適宜調整することにより $H_{BCL}$  を決定できる。

【0068】尚、電極31から通電するセンス電流の方向は、その電流による磁化フリー層における電流磁界（ $H_{Cu}$ ）が磁化ピン層等の他の強磁性層から磁化フリー層に印加される漏洩磁界（ $H_p$ ）をキャンセルする方向とする。

【0069】このようにBCLの磁化は、電流磁界と磁化ピン層からの漏洩磁界により固着をしているが、上述のように、磁化ピン層の磁化方向が完全にMRハイト方向に固着されていないことから、 $H_{pin}^{BL}$  は、Sy-AFを用いた完全固着のピン層と比べて小さくなりがちなものである。また、ハードバイアス膜29による $H_{pin}^{BL}$  低減の影響は、軟磁性層を用いたBCLの方が顕著に影響するので、設計にあたっては、これらを考慮することが望ましい。

（実施例1）本実施例1では、第1の実施の形態に関するボトムタイプスピナル膜の実施例1を説明する。

【0070】まず、基板1上に、次の各層からなるスピナル膜を作成した。尚、膜厚は、成膜速度と成膜時間の制御により成膜した直後の値である。

【0071】Ta 3nm/NiFeCr 2nm/CoFe 1.5nm/NiFeCr 1nm/PtMn 10nm/CoFe 0.5nm/NOL/CoFe2nm/Cu 2.3nm/CoFeNi 2nm/Cu 1nm/TaO 1nm

このスピナル膜の成膜は、上記各層の層材料をターゲット材料として用いて、真空中でのDCマグネトロンスパッタ法により成膜した。スパッタチャンバー内の到達真空度は $1 \times 10^{-7}$  Torr以下で、Arガスを用いて1mTorr～10mTorrのガス圧にて成膜した。尚、DCマグネトロンスパッタ法の他に、IBD(Ion Beam Deposition)方法でも構わない。そのときは、スパッタガスにXeガスを用いることができ、そのガス圧をDCマグネトロンスパッタよりも下げることが可能となる。

【0072】次に、各層の構成について図1を参照し

つ説明する。

【0073】基板1側から、Ta層はバッファ層3であり、0-5nm程度の平均膜厚が望ましい。Taの代わりに、Ti、Zr、Hf、W、Cr、V、Mo、Re、Os等の金属やそれらの合金を用いても構わない。これらの中でも特に、Ta、Ti、Zrを用いることができる。

【0074】その上のNiFeCr層は、この上層のCoFe、NiFeCr等の面心立方構造（fcc）の（111）面の層表面に対する平行配向を促す、非磁性材料からなるシード層5である。ここでは、シャント低減のため、及び、磁性材料のNiFeを非磁性にするために、Crを添加している。Crの添加量は、20%～60%程度（atomic %）が望ましい。また、クロムの代わりにNb、Hf、Ta、Ti、Mo、W等を添加しても構わない。さらにまた、fcc(111)配向促進膜として、非磁性のNiCr、Cu、Ru、Re、Os、Pt、非磁性NiCu等を用いてもよい。シード層5が結晶配向促進機能を備える材料で構成すればバッファ層3を省略してもよい。

【0075】NiFeCr層の上のCoFe層は、BCL7であり下地シード層の効果によってfcc(111)配向しているため十分な軟磁性を示しており、電流磁界 $H_{Cu}^{BL}$  や、磁化ピン層13、17からの漏洩磁界 $H_{pin}^{BL}$  によって、磁化方向が磁化ピン層の磁化方向と反対に向くことが可能である。

【0076】BCL7の軟磁性が十分でないと、電流磁界（ $H_{Cu}^{BL}$ ）や磁化ピン層13、17からの漏洩磁界（ $H_{pin}^{BL}$ ）によって磁化方向が動かなくなってしまうので、好ましくない。但し、媒体磁界に敏感に反応しなければならぬ磁化フリー層21ほど、軟磁性は求められない。

【0077】一つの基準として、電流磁界（ $H_{Cu}^{BL}$ ）やピン層からの漏洩磁界（ $H_{pin}^{BL}$ ）と比べて、 $1/10 \sim 1/5$ 以下の小さい保磁力（Hc）であれば問題ない。この膜は、バイアスポイント制御のために重要な役割を果たすので、この膜厚決定に注意が必要である。膜厚決定の指針については後に詳述する。

【0078】BCL7のスパッタターゲット材料は、ここではCoFeを用いたが、NiFe、NiFeX(X=Cr、Nb、Hf、Ti、Ta、W、Mo)のような結晶材料、CoZrNb、CoZrTaのようなアモルファス材料でも構わない。しかしながら、ボトムタイプNOL-SPSVの場合にはBCL7は下地層としての役割も持つので、その上に積層される結晶配向制御という意味では、CoFeやNiFeのような結晶材料が望ましい。BCL7がスピナル膜中の上層に位置するトップタイプのときにはアモルファス材料でもよい。

【0079】CoFe層上のNiFeCr層は、磁性をもつBCL7と反強磁性層11であるPtMn層との磁気的な結合を切るための非磁性層（デカップリング層9）であり、電気的なシャントはできるだけ小さいほうがよい。シード層5と同じNiFeCrを用いた。必ずしもシード層5と同じ材料である必然はないが、ちょうど下地シード層で挙げ

たような材料がそのまま使える。

【0080】ここで、磁気的なカップリングが反強磁性膜11とBCL7間で生じてしまうと問題である。なぜならば、図1に示すように、反強磁性膜11との交換結合によって固着された磁化ピン層13、17の磁化方向と、磁化ピン層13、17からの漏洩磁界 ( $H_{pin}^{BCL}$ ) と電流磁界 ( $H_{cu}^{BCL}$ ) によって、BCL7にかかる磁化方向 ( $H^{BCL} = H_{pin}^{BCL} + H_{cu}^{BCL}$ ) を逆向きにする必要があるのに対し、BCL7と反強磁性層11との間に磁気的なカップリングが生じると、磁気ピン層13、17の磁化方向とBCL7の磁化方向が同方向になる作用が働くからである。

【0081】BCL7と反強磁性層11とのカップリングが生じた場合、BCL7に加わる電流磁界や、磁化ピン層17からの漏洩磁界の1/10~1/5以下の大きさにする必要がある。そのために、必要なNiFeCrの膜厚は0.5nm~5nm程度が望ましく、さらに望ましくは1~3nm程度が望ましい。厚ければ厚いほど十分に磁気的なカップリングを切ることが可能になるが、その分、電気的なシャントも増え、またトータル膜厚も増えるために高い狭ギャップ (高密度) 化との調整が必要となる。また、再生磁気ヘッドに用いる場合には、磁気シールド間に磁気ギャップを介して厚いスピナル膜を入れることが困難になるため、上記膜厚の範囲が好ましい。

【0082】NiFeCr層の上のPtMn層が反強磁性層11であり、その上に積層される磁化ピン層 (CoFe層) 13の磁化を固着するものである。電気的なシャントを低減するために、反強磁性層11は薄いほうが望ましいが、あまり薄すぎると一方向への磁化固着が困難になるため、PtMnの場合は6nm~20nm程度が望ましく、さらに望ましくは、8nm~15nm程度が望ましい。

【0083】また、反強磁性層11としてはPtMnが望ましいが、PtMnのかわりにPdPtMnや、IrMn、RuMn、RuRhMn、NiMn、NiO、 $\alpha$ -Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>等の一方向に磁化方向を固着する機能のある他の反強磁性層であっても構わない。

【0084】PtMn層の上のCoFe/NOL/CoFeが一体の磁化方向をもつ磁化ピン層であり、NOLを介した上下のCoFeは、信号磁界が与えられた状態でも磁気的に十分な強さで強磁性結合している。PtMn層に接触するCoFe層は、NOLによる酸素がPtMnまでいかないように、かつPtMn層と磁気的にカップリングするために必要な厚さを有することが好ましい。但し、NOL15による酸素の影響がPtMn層に届かない範囲、かつPtMn層と時期的にカップリングできれば薄ければ薄いほど望ましい。

【0085】また、磁化ピン層13、17の磁気膜厚がNOL-SPSVでは厚くなりやすいため、これら磁化ピン層13、17の磁気膜厚もできるだけ小さいほうが望ましい。例えば、飽和磁化を低減するためにCr、B、Cu等の添加元素を加えることも望ましい。膜厚は、ここではCoFe0.5nmとなっているが、0.3nm~1.5nm程度が望まし

い。ここでの磁性材料はCoFe合金のほか、Fe、Fe系合金、Ni、Ni合金等でも構わない。例えば、CoFeCr、CoFeB、CoFeCu等を用いることができる。

【0086】NOL15は、磁化ピン層13を成膜した表面を酸化して形成することも可能であり、酸化膜を成膜することも可能である。

【0087】金属表面を酸化する方法には、超高真空中で酸素フローしたり、プラズマ酸化したり、UV酸化、酸素イオンビームによる酸化などの方法がある。このとき、磁化ピン層13の下の方強磁性層11まで酸化しないように留意する必要がある。

【0088】酸化膜を成膜する方法には、酸化物ターゲットをスパッタにより成膜する方法や、金属ターゲットを酸素雰囲気中でスパッタして、反応性スパッタによる方法などがある。このNOL15の膜厚は、約0.1nm以上約5nm以下が望ましい。特に望ましくは、約1nm以上約2nm以下が望ましい。NOL15の上に成膜される磁化ピン層17はMR変化率に大きく影響する強磁性層なので、低磁気膜厚の磁化ピン層17にする場合にもあまり添加元素を多くしないことが望ましい。

【0089】望ましくは、CoやCoFe合金がよく、NiFe合金でも構わない。低BsにするためにCoFe合金にB、Cuを添加する場合は、微量の添加3~10atomic%とすることができる。

【0090】磁化ピン層17の上に成膜されるCu層は非磁性層19であり、約1.5nmから約3nmの膜厚が望ましい。特に望ましくは、約2nmから約2.5nmが望ましい。非磁性層19の膜厚および層表面の平坦性が悪くなると、磁化フリー層21と磁化ピン層17の間の層間結合 (inter-layer coupling) の磁界強度が増大するので、層表面の平坦性は重要である。

【0091】通常は、磁化ピン層17と磁化フリー層21が強磁性的磁化配列をすることが多いが、反強磁性的磁化配列結合の場合もある。どちらにしても、あまり大きな $H_{in}$ の値にならないことが望ましい。 $H_{in}$ の値としては、約-200e以上約+200e以下が望ましい(+のときが磁化ピン層と磁化フリー層が強磁性的磁化配列、-のときが反強磁性的磁化配列)。さらに望ましくは、約-100eから約+100eが好ましい。

【0092】Cu層の上は磁化フリー層21をなすCoFeNi層が成膜される。磁化フリー層21の構成としては、非磁性層19にCoFeが接しているCoFe/NiFe積層フリー層、単層CoFeフリー層、単層CoFeNiフリー層等を用いることが可能である。実施例1で用いた単層CoFeNi層はNiの添加によって、磁歪の制御と、良好な軟磁性を実現している。

【0093】尚、NOL25による鏡面電子反射効果を利用するには磁化フリー層21の膜厚は薄いほうが好ましい。具体的には約1nm以上、約4nm以下が好ましく、より好ましくは、約1.5nm以上、約3nm以下がよい。

【0094】磁化フリー層21の上に積層されているCu層はHCL23であり、バイアスポイント調整の効果を備える。つまり、Cu層によって、スピバルブ膜中に流れる電流中心を磁化ピン層側から磁化フリー層に近づけることによって、フリー層に印加される電流磁界 $H_{cu}$ を低減することが可能となる。

【0095】ただし、あまりHCL23を厚くすると、シャントによってMR変化率が低減するため好ましくない。望ましい範囲としては、約0.3nm以上、約3nm以下、さらに好ましくは約0.5nm以上、約2nm以下がよい。

【0096】尚、このHCL23の膜厚は、バイアスポイントに大きく関わるものであり、磁化ピン層漏洩磁界 $H_{pin}$ の大きさにあわせて変えるべきものである。HCL23の膜厚については、BCL膜厚のとともに、後に詳述する。

【0097】Cu層上のTa0キャップ層27は、鏡面反射効果を持つものであり、酸化物層であることが望ましい。材料は、Ta0以外でも、AlO、TiO、CrO、WO、VO、ZrO、HfO、FeO、CoOなどのその他の金属酸化物でも構わない。また、酸化物層の上にさらにキャップ層として、金属Ta層をさらに成膜しても構わない。

【0098】尚、本実施例では磁化ピン層13、17が磁化フリー層21よりも下層に位置する、ボトムタイプスピバルブについて説明したが、本発明はボトムタイプに限定されるものではなく、磁化ピン層が磁化フリー層よりも上層に形成されるトップタイプでも構わない。

【0099】トップタイプには、Ta0/Cu 1nm/NiFe 1nm/CoFe 1nm/Cu 2.2nm/CoFe 2nm/NOL 1.5nm/CoFe 0.5nm/Pt Mn 10nm/NiFeCr 1nm/CoFe 1.5nm/Ta 3nm等がある。ここで、下層のTa0はバッファ層兼磁化フリー層用NOL、その上層のCu層はHCL兼下地シード層、NiFe層及びCoFe層が互いに強磁性結合して磁化フリー層を構成し、Cu層はスペーサ層、CoFe層、NOL、CoFe層が、CoFe層どうしが強磁性結合した磁化ピン層、PtMn層が反強磁性層、NiFeCr層が磁気結合切断層（デカップリング層）、CoFe層がBCL、Ta層がキャップ層である。各層の材料、膜厚の変更はボトムタイプと同様である。

【0100】次に、HCL23の膜厚について、説明する。

【0101】電流磁界 $H_{cu}$ は磁化フリー層21に接して形成されたHCL23を設けることによって、電流磁界 $H_{cu}$ を低減する。

【0102】このとき、NOL-SPSVでは、極薄磁化フリー層の採用によるMR変化率の減少分はNOL15、25による鏡面電子反射効果によって、磁化フリー層21の実効膜厚を上げることになるので、HCL23の膜厚は、電流磁界の低減効果を最優先に決定する。そして、あとはHCL23によるシャント分流による磁気抵抗変化率の減少効果を補充するために決定する。

【0103】具体的には、HCL23の膜厚は最低限必要な膜厚として、ボトムタイプでのキャップ層27のシャ

ントが無視できる程度、例えば平均膜厚3nmのTaキャップ層27を用いているのであれば、HCL23としてCuを用いて、約0.3nm以上、約2nm以下とすることができ、望ましくは約0.5nm以上、約25nm以下とすることができる。膜厚の上限は、HCL23の膜厚を厚くすると、シャント分流で抵抗変化率が低下してしまうためであり、膜厚の下限は、スピフィルターの効果を得るためである。

【0104】一方、磁化フリー層21に加わる他の強磁性層からの漏洩磁界 $H_p$ については、磁化ピン層13、17にSy-AF構造を使わず、BCL7により補償するが、BCL7の磁化が完全に磁化ピン層と逆向きに固着されるわけではないことに注意が必要である。

【0105】つまり、上述の通り、BCL7の磁化方向は電流磁界 $H_{cu}^{BCL}$ と磁化ピン層13からの漏洩磁界 $H_{pin}^{BCL}$ によって固着され、一般的に、これら二つの磁界によるBCL7の磁化方向の固着はSy-AFによる磁化固着よりもハイト方向に完全に向ききっていないことが多い。

【0106】よって、上記(2)式における $H^{BCL}$ の大きさは、完全に磁化ピン層13、17と反対方向に固着された場合よりも小さくなる。つまり、Sy-AF構造におけるバイアス補償と同等の効果を持とうとすると、Sy-AF構造の一方の磁性層よりもBCL7のほうが磁気膜厚を必要とする。

【0107】Sy-AF構造とBCL7との差は、センス電流磁界 $H_{cu}^{BCL}$ の大きさが小さいほど顕著になり、逆にセンス電流が十分大きければその差は小さくなる。また、磁化ピン層13、17からの漏洩磁界によって、BCL7は磁化ピン層13、17とは逆向きの磁化方向に固着されるので、ピン層の磁気膜厚が厚ければ厚いほどSy-AF構造との差が小さくなり、薄ければ逆となる。

【0108】尚、完全な理想状態として、磁化ピン層13、17の磁気膜厚が十分厚く、センス電流が十分大きい場合には、BCL7のハイト方向への磁化固着の不完全差の分を考慮すれば、(1)、(2)式を容易に満たす事ができる。

【0109】LLG (Landau Lifshits Gilbert) マイクロマグネティックシミュレーションを用いた解析を行ったところ、Sy-AFと比べたときに、BCL7のピン磁化方向の不完全さは約70%から約95%であった。つまり、BCL7はSy-AF構造における一磁性層の1.1倍~1.4倍の磁気膜厚が必要となる。

【0110】反強磁性層側磁化ピン層13の磁気膜厚は、CoFe換算で約1.0nm以上、約3nm以下(NiFe換算で約1.8nm以上、約5.4nm以下)になり、(2)式による実効ピン漏洩磁界のために許容される $\Delta t_{pin}$  ( $\Delta t_{pin} = (M_s \times t)_{pin} - (M_s \times t)_{BCL}$ )、0.5nmT~2nmTなので、BCL7によるハイト方向への実効ピン層磁気膜厚は0.9nmT~4.9nmTとなる。

【0111】加えて、BCL7に実際に必要な膜厚は上述の通り、Sy-AF構造の一磁性層の約1.1から約1.4倍の膜

厚が必要なため、NiFe換算膜厚で約1nm以上、約6.9nm以下、CoFe換算で約0.6nm以上、約3.8nm以下必要となる。

【0112】ここでは、反強磁性層側磁化ピン層13の磁気膜厚が薄くできることを想定したが、実際にはNOL15を含む場合には厚くなるので、望ましい範囲としては、NiFe換算で約1.8nm以上、約4.5nm以下、CoFe換算で約1nm以上、約2.5nm以下がよい。

【0113】実施例1の膜構成でBCL膜厚の最適値を求めるために行ったLLGマイクロマグネティックシミュレーション結果を図3に示す。

【0114】 $\Delta t_{pin}$  of zero asymmetry[nmT]は、良好な対象性（アシンメトリ）が得られるときの $\Delta t_{pin}$ の値である。また、ピン層完全固着（Pin fixed）は磁化ピン層の磁化がハイト方向に完全に一方向に向いている理想状態に対応し、Hua 800[Oe]と400[Oe]は磁化ピン層の一方異方性を示し、その値が小さくなるに従って、理想状態よりもハード膜29からの漏洩磁界により傾きやすい状態に対応する。

【0115】ハード膜/リード電極間距離で決まる磁気抵抗効果膜28のトラック幅は0.5 $\mu$ m、ハイトは0.3 $\mu$ mである。

【0116】図3において、横軸はハード膜厚の相対的な強さであり、ハード膜の磁気膜厚 ( $M_s \times t$ )<sub>hard</sub> とフリー層の磁気膜厚 ( $M_s \times t$ )<sub>free</sub> の比で求められる。実際のヘッドでは、理想系とはバイアス値が異なるため、横軸の絶対値にはあまり意味がなく、計算上、バルクハウゼンノイズが生じない範囲での相対値である。尚、センス電流はパラメータとして変えている。

【0117】また、図2において、縦軸はバイアスポイントが最適値であって、信号波形の非対象性がゼロになるときのBCL7の膜厚であり、左側にNiFe換算の磁気膜厚(nmT)で、右側に飽和磁化1.8TのCoFe換算の膜厚を示している。

【0118】その結果、磁化ピン層13、17の一軸異方性Huaによっても異なるが、BCL7を飽和磁化1.8TのCo

Feとした場合の膜厚は、約1nm以上、約2.5nm以下が好ましい範囲であることがわかる。

【0119】これらの範囲は、非磁性高導電層HCL23の膜厚が厚ければ厚いほど、BCL膜厚も厚い側に、Huaが大きいほどBCL膜厚が薄い側に、センス電流が大きいほどBCL膜厚が薄い側に最適条件がずれていくことになる。

【0120】

【発明の効果】酸化物、窒化物、炭化物、あるいは弗化物を含有する層を有し、良好なバイアスポイントを備える磁気抵抗効果素子、磁気抵抗効果ヘッド、これを搭載する磁気再生装置、磁気記憶装置、及び磁気抵抗効果膜の抵抗検知方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第一の実施形態に係る磁気抵抗効果素子の断面図である。

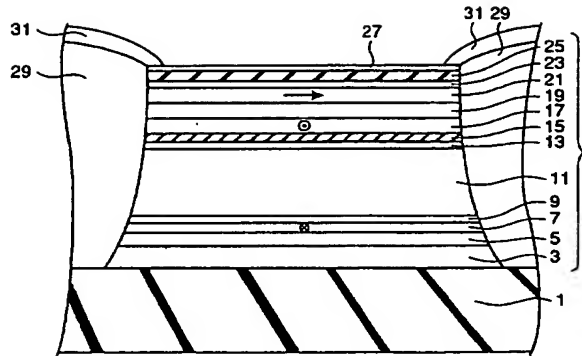
【図2】第一の実施形態に係る磁気抵抗効果素子のバイアスポイント調整について説明するための拡大断面図である。

【図3】第一の実施例における、計算結果を示す図である。

【符号の説明】

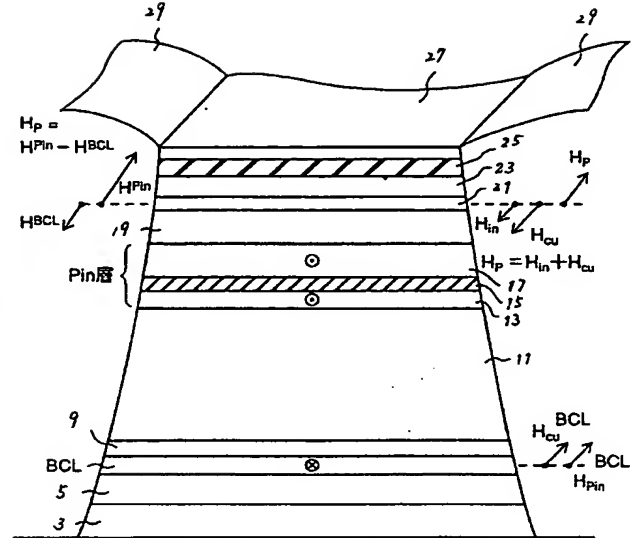
- 7...BCL
- 9...デカップリング層
- 11...反強磁性層
- 13...磁化ピン層
- 15...NOL
- 17...磁化ピン層
- 19...非磁性スペーサ層
- 21...磁化フリー層
- 23...HCL
- 25...NOL
- 29...バードバイアス膜
- 31...リード電極

【図1】

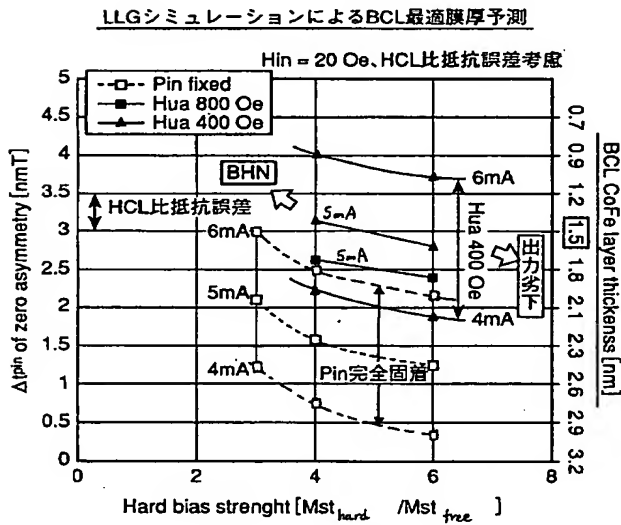


- |             |              |
|-------------|--------------|
| 1: 基板       | 15: NOL      |
| 3: バッファ層    | 17: 磁化ピン層    |
| 5: シード層     | 19: 非磁性層     |
| 7: BCL      | 21: 磁化フリー層   |
| 9: デカップリング層 | 23: HCL      |
| 11: 反強磁性層   | 25: NOL      |
| 13: 磁化ピン層   | 27: キャップ層    |
|             | 29: ハードバイアス膜 |
|             | 31: リード電極    |

【図2】



【図3】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 F 10/30

10/32

H 0 1 L 27/105

識別記号

F I

H 0 1 F 10/32

G 0 1 R 33/06

H 0 1 L 27/10

テーマコード (参考)

R

4 4 7

(72)発明者 鴻井 克彦  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内  
(72)発明者 福家 ひろみ  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内  
(72)発明者 富田 宏  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 佐橋 政司  
神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内  
Fターム(参考) 2G017 AA01 AB07 AD55 AD65  
5D034 BA03 BA05 BA12 BA15 CA08  
5E049 AA01 AA04 AA07 AC00 AC05  
BA12 CB02 DB12 GC02  
5F083 FZ10 GA30 PR22 ZA19